

6M



ETUDE DE SUIVI DU TRAIT DE COTE
ET SCHÉMA DIRECTEUR LITTORAL
DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

ETUDE DE CAS AU BENIN

**LES PLAGES BENINOISES
DANS LE GOLFE DE GUINEE
EN AFRIQUE DE L'OUEST :
EVOLUTIONS ET CONSEQUENCES
SOCIO-ECONOMIQUES**



2010

Etude de cas

LES PLAGES BENINOISES DANS
LE GOLFE DE GUINEE EN AFRIQUE DE L'OUEST :
EVOLUTIONS ET CONSEQUENCES
SOCIO-ECONOMIQUES

**Laboratoire de Géologie, Mines
et Environnement**

TABLE DES MATIERES

I.	CONTEXTE DE L'ETUDE.....	4
II.	PRESENTATION DU SITE DE ETUDIE	6
2.1	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU LITTORAL BENINOIS.....	7
2.2	CARACTERISTIQUES ANTHROPIQUES	13
III.	APPROCHE METHODOLOGIQUE	16
3.1	DONNEES UTILISEES	16
3.2	LIGNE DE REFERENCE SELECTIONNEE.....	16
3.3	TECHNIQUE D'ACQUISITION DE LA LIGNE DE REFERENCE SELECTIONNEE	17
3.4	METHODES, OUTILS ET TECHNIQUES DE MESURES DES EVOLUTIONS OBSERVEES	18
3.5	ESTIMATIONS DES MARGES D'ERREUR.....	18
IV.	EVOLUTION DIACHRONIQUE DE LA POSITION DU TRAIT DE CÔTE.....	20
4.1	HISTORIQUE DE L'EVOLUTION DU SECTEUR COTIER DE L'ESTUAIRE DE L'OUEME-SO.....	20
4.2	PRESENTATION DES RESULTATS SUR LE SECTEUR COTIER ADJACENT A L'ESTUAIRE DU MONO-COUFFO	31
V.	PERSPECTIVES – PROJET D'ETUDE.....	50
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	52
	FICHES DE METADONNEES	54
	LISTE DES ILLUSTRATIONS	56

I. CONTEXTE DE L'ETUDE

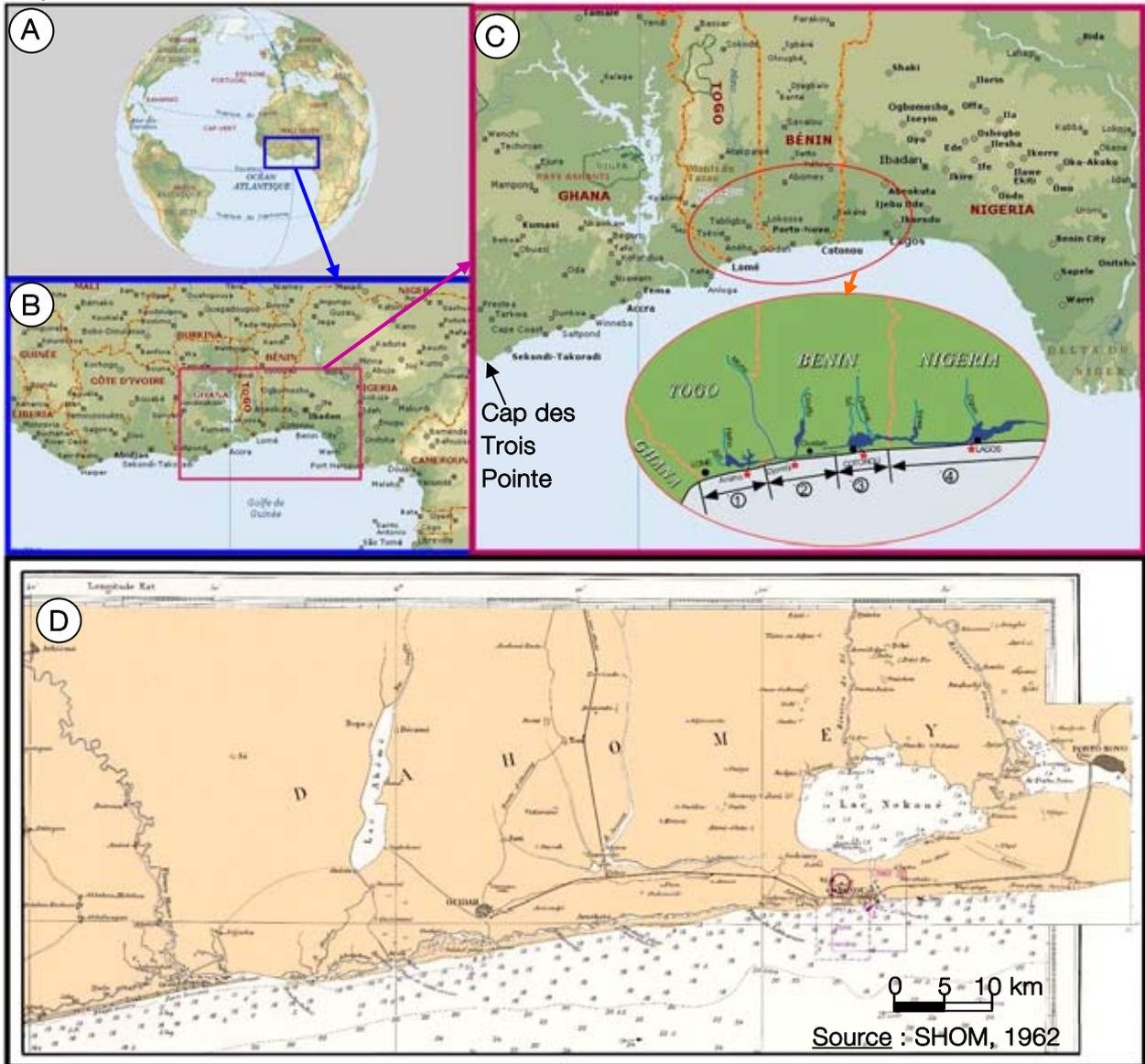
A l'instar de toutes les zones côtières du monde, le milieu littoral béninois constitue l'interface entre l'océan, l'atmosphère et le continent. C'est un géosystème très sensible aux interventions humaines et où cohabitent cependant un très grand nombre d'écosystèmes riches et variés procurant des biens et services indispensables au développement des populations. Avant la construction des ouvrages portuaires de Cotonou, la frange côtière béninoise était une étendue sableuse ininterrompue sur un linéaire de cent vingt cinq kilomètres dont les seules discontinuités n'étaient constituées que d'embouchures d'estuaires (Fig. 1c et 1d) : l'embouchure de l'estuaire des fleuves Mono et Couffo (encore appelée "Bouche du Roi") à l'Ouest et celle l'estuaire de l'Ouémé et Sô à l'Est.

La construction du Port de Cotonou en 1962 au voisinage de l'embouchure de l'estuaire de l'Ouémé-Sô a profondément déstabilisé la morphologie du secteur de côte adjacente à cette embouchure. De même, depuis l'édification du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono en 1987, le secteur de côte adjacent à la "Bouche du Roi" montre lui aussi de profonds bouleversements morphologiques qui affectent négativement l'ensemble des écosystèmes inféodés. Avec ces deux réalisations humaines majeures (port autonome de Cotonou et barrage hydroélectrique de Nangbéto), les côtes béninoises évoluent aujourd'hui dans un contexte d'érosion et d'accumulation :

- le secteur de côte adjacent à l'embouchure de l'estuaire de l'Ouémé-Sô est depuis 1962 sous l'influence des ouvrages portuaires. Il montre des phénomènes d'accumulation à l'Ouest du port et d'érosion à l'Est. Cette évolution est typique de celle des côtes du Golfe de Guinée caractérisées par des ports maritimes dans un environnement à fort transit littoral dirigé d'Ouest en Est. Ce secteur de côte a fait l'objet de plusieurs études depuis 1962 et la construction du PAC est clairement accusée dans sa dynamique actuelle. Plusieurs ouvrages de protection ont été expérimentés dans la zone en érosion (appelée crique). Ces ouvrages ont manqué d'efficacité et ont été simplement emportés par la mer, moins de deux ans après leur réalisation. Actuellement la vitesse d'érosion dans ce secteur est en moyenne de 10 m/an.
- depuis la mise en service du barrage de Nangbéto, le secteur de côte adjacente à la "Bouche du Roi" est caractérisé par d'importants bouleversements tels que la migration d'embouchure et la déstabilisation de la morphologie des plages ; ce qui entraîne d'importants phénomènes d'érosion, la perturbation des divers écosystèmes littoraux (mangrove, marais et lagunes côtières) et la submersion des zones basses. Cependant, les modèles de simulations réalisées par la SOGREAH en 1992 prévoient une relative stabilité/engraissement de la zone de la "Bouche du Roi" pendant 25 ans après la construction du barrage (c'est-à-dire jusqu'en 2012) alors que la fourniture du budget sédimentaire à la dérive littorale par le fleuve Mono passerait de 100 000 m³/an à 25 000 m³/an (Rossi et Blivi, 1995). Les observations de terrain sont donc loin de s'accorder avec une stabilité dans ce secteur. Il est donc urgent de chercher à vérifier s'il existe une relation de causalité entre la mise en service du barrage de Nangbéto et les bouleversements observés. Cette étude de cas d'érosion côtière soutenue par l'UICN, vise à caractériser la dynamique morpho-sédimentaire des plages de ce secteur de côte assujetti à d'intenses

phénomènes d'érosion/accumulation, au rythme de la migration de la "Bouche du Roi". Cet objectif constitue un préalable nécessaire à la compréhension des causes des profondes modifications qui s'opèrent dans ce secteur depuis la construction du barrage de Nangbéto. Il faut aussi préciser que le secteur fait actuellement l'objet des travaux de recherches conduits dans le cadre d'une thèse de Doctorat.

Figure 1 : Situation du littoral béninois (c) dans le golfe de Guinée (b) en Afrique de l'Ouest (a) et sa morphologie (d) avant la construction des ports et barrage perturbateurs de l'équilibre des côtes



- 1 - Secteur côtier de l'estuaire de Sio-Haho (au Togo)
 - 2 - Secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo (au Bénin)
 - 3 - Secteur côtier de l'estuaire de l'Ouémé-Sô (au Bénin)
 - 4 - Secteur côtier de l'estuaire d'Ogun-Yéwa (au Nigeria)
- N.B. : les astérisques rouges indiquent les embouchures d'estuaires

II. PRESENTATION DU SITE DE ETUDIE

Le milieu d'étude correspond au milieu littoral béninois. D'une longueur de 125 km, la côte béninoise correspond à la partie centrale du golfe du Bénin, un géosystème qui appartient lui aussi au grand ensemble côtier du golfe de Guinée (Fig.1b et 1c).

Le golfe du Bénin est compris entre le Cap des trois pointes au Ghana et la façade occidentale du delta du Niger. Il comprend deux grands deltas : le delta de la Volta situé au milieu du golfe et celui du Niger représentant sa limite est. Deux types morphologiques de côtes se distinguent au sein de ce golfe : une côte rocheuse et une autre sableuse.

La côte rocheuse à falaise s'étend du Cap des trois pointes au delta de la Volta. Elle est taillée dans les roches du socle (Craton Ouest Africain et de la Chaîne Panafricaine des Dahoméhydes) et concerne la côte ghanéenne.

La côte sableuse est comprise entre le delta de la Volta et celui du Niger. Elle est édifiée au sein d'un bassin sédimentaire côtier : le bassin de la "Baie du Dahomey". Elle représente une grande cellule sédimentaire commune au Togo, au Bénin et au Nigéria et comporte d'Ouest en Est, quatre complexes hydrologiques du type estuarien : l'estuaire de Sio-Haho débouchant en mer par la passe temporaire d'Aného (Togo), l'estuaire du Mono-Couffo en interaction avec la mer par le truchement de la Bouche du Roi au Bénin, l'estuaire de l'Ouémé-Sô communicant avec la mer par le chenal de Cotonou (Bénin) et l'estuaire d'Ogun-Yéwa s'ouvrant sur la mer par l'embouchure de Lagos au Nigéria. Il faut noter que l'unicité de cette grande cellule sédimentaire a été profondément perturbée par les ports édifiés sur la côte et les barrages construits sur les fleuves débouchant sur les estuaires et deltas. Elle est donc subdivisée aujourd'hui en plusieurs segments de côte qui évoluent dans des contextes d'érosion et d'accumulation. Ainsi donc, pour des raisons de commodité nous avons choisi de la découper en quatre secteurs, chaque secteur comportant des plages adjacentes à l'embouchure d'un estuaire (Fig.1c). La morpho dynamique des plages de chaque secteur s'effectue alors sous l'influence de la dynamique des passes tidales et/ou des ouvrages portuaires.

Les plages béninoises correspondent à deux des quatre secteurs côtiers distingués (Figs.1 et 2) :

- le secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo ou secteur comprenant la "Bouche du Roi" ;
- le secteur côtier de l'estuaire de l'Ouémé-So ou secteur adjacent au Port de Cotonou

2.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU LITTORAL BENINOIS

1. Climat et hydrologie

a. Facteurs climatiques

Le climat de la zone littorale béninoise est de type subéquatorial humide. On y distingue quatre saisons plus ou moins marquées : une grande saison des pluies de mi-mars à mi-juillet, une petite saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre, une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars et une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre. Les précipitations annuelles varient d'Ouest en Est de 719 à 1470 mm avec une moyenne calculée pour Cotonou de 1313 mm répartie sur 80 à 120 jours (Oyédé et Kaki, 1998). La température moyenne est de 27° C et est très peu variable. Elle oscille entre 27,7° C en saison sèche et 26,5° C en saison des pluies.

Les vents dominants sur le littoral du Bénin sont constitués par les alizés océaniques. On distingue par leur fréquence annuelle, trois catégories de vents (Toffi, 1991) :

- les vents du Sud-ouest (64%) : la répartition mensuelle indique des fréquences très fortes de février à novembre. La vitesse moyenne est de 4,4m/s. Les valeurs maximales s'observent en juillet-août.
- les vents de l'Ouest-Sud-ouest (16%) : les fréquences les plus élevées sont axées sur juillet, août et septembre avec des vitesses de l'ordre de 6m/s ;
- les vents du SSW (14%) : les fréquences mensuelles les plus élevées s'observent en janvier, mars, novembre et décembre avec des vitesses de l'ordre de 3,6m/s

b. Aspects hydrologiques

Les lagunes et les fleuves tributaires

Le milieu littoral est constitué de plans d'eau lagunaires alimentés par deux complexes fluviaux.

• Les plans d'eau lagunaires

Les lagunes du domaine littoral béninois sont organisées en deux systèmes estuariens (Fig.2). Il s'agit de l'estuaire des fleuves Mono-Couffo ou estuaire de l'Ouest et de l'estuaire de l'Ouémé-Sô ou estuaire de l'Est.

L'estuaire de l'Ouest comprend une lagune-vive¹ étroite et allongée parallèlement à la côte appelée lagune côtière et une autre plus vaste, pénétrant à l'intérieur des terres : le lac Ahémé auxquelles s'ajoutent des lagunes-mortes² (lagune Agbananou, de Djaba et de Assogbénu). Le système est en interconnexion avec la mer par une embouchure étroite (entre 100 et 300 m) et mobile appelé "Bouche du Roi", une mauvaise traduction de l'expression portugaise "bocca del Rio". Il est en continuité hydraulique avec l'estuaire de Sio-Haho au Togo par un mince chenal lagunaire, le chenal Gbaga.

L'estuaire de l'Est, comme celui de l'Ouest, comprend aussi une lagune-vive étroite et allongée parallèlement à la côte appelée lagune de Porto-Novo, et une lagune plus vaste, pénétrant à l'intérieur des terres : le lac Nokoué auxquelles s'ajoutent aussi des lagunes-mortes (Toho, Todouba, Dati, Bakamè reliés au lac Nokoué puis Boué, Zouvi, Donoukin-

¹ Une lagune-vive est une lagune qui entretient actuellement des échanges très actifs avec la mer.

² Une lagune-morte est une lagune ayant entretenu des échanges très actifs avec la mer à l'Holocène, mais évoluant actuellement dans un état de quasi-stagnation, les écoulements y étant devenus beaucoup plus faibles. Précisons qu'une lagune-morte n'est pas forcément une lagune fermée.

Kpodio en liaison avec la lagune de Porto-Novo. L'estuaire de l'Est est en communication avec la mer par une passe tidale appelée chenal de Cotonou. Elle a été ouverte mécaniquement en 1885 et a aujourd'hui plus de 200 m de large.

Les lagunes-vives de ces deux systèmes estuariens sont caractérisées par des régimes de salinité d'une grande amplitude. La salinité des eaux varie selon les saisons de crue et de décrue des cours d'eau tributaires. Elles passent de l'eau douce à de l'eau salée pendant la période d'étiage, avec un gradient de salinité qui décroît du sud vers le nord des chenaux et des plans d'eau. Les eaux sont toujours chaudes et ne présentent que de faibles écarts de températures. Les températures les plus basses sont enregistrées en juillet-août (24° à 25°C), les plus hautes en mars (31° à 33 °C).

- **Les cours d'eau tributaires**

L'estuaire de l'Ouest est alimenté par les fleuves Mono et Couffo, celui de l'Est par les fleuves Ouémé et Sô.

- **Le Mono et le Couffo**

Le fleuve Mono prend sa source dans les hauteurs de Bafilo-Tchamba au Togo. Il a une longueur de 527 km et draine avec ses affluents, un bassin de 21500 km² au Togo et au Bénin. Le cours inférieur du fleuve matérialise la frontière entre le Togo et le Bénin sur une longueur de 100km. Il est tracé sur les terrains sédimentaires et décrit de nombreuses méandres avant de se paralléliser à la côte à partir de Grand-Popo (Fig.2). Il faut préciser que le fleuve Mono a un régime hydrologique tropical caractérisé à l'état naturel par un débit d'étiage quasi nul pendant six mois, de décembre à mai, et un débit de crue dont le pic moyen atteint 400 m³/s en septembre-octobre (Fig.3). En juillet 1987, dans le but de répondre au besoin sans cesse croissant de demande énergétique, le Bénin et le Togo ont construit un barrage hydroélectrique sur le fleuve Mono, à la latitude du village de Nangbéto à 250 km au Nord du Togo. Depuis lors, l'hydrologie naturelle du fleuve a été perturbée et l'écoulement y est devenu permanent en toute saison (Fig.3).

Le fleuve Couffo est long de 190 km et draine un bassin versant de 3 000 km². C'est un cours d'eau modeste avec un débit d'étiage nul (pendant 200 jours/an en moyenne) et un débit de crue de 16 m³/an en octobre.

Figure 2 : Carte montrant la géomorphologie du littoral béninois et les Communes s'ouvrant sur la mer

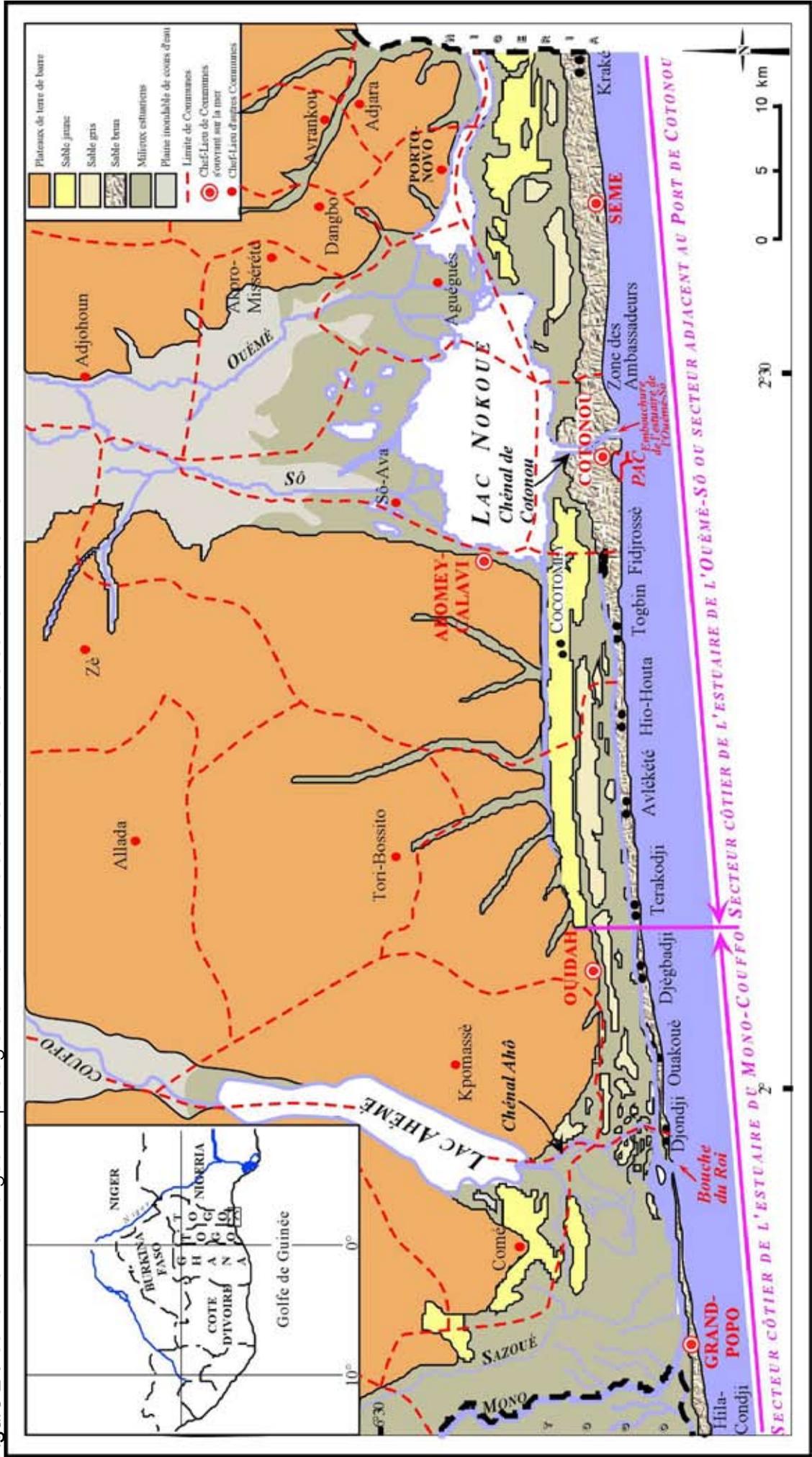
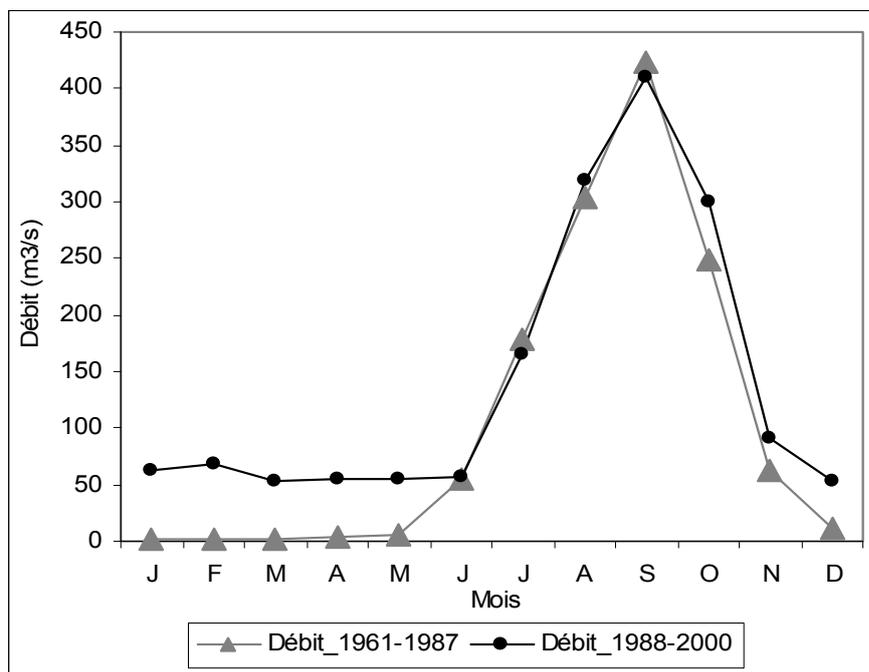


Figure 3 : Variations mensuelles moyennes des écoulements du Mono à Athiémé avant et après la construction du barrage de Nangbéto (Amoussou, 2010)



o L'Ouémé et la Sô

L'Ouémé (bassin versant : 46 500 km²) est un fleuve long de 500 km. La partie supérieure du fleuve coule sur le socle cristallin depuis sa source dans les monts Tanékas jusqu'à la latitude d'Abomey, à l'entrée dans le bassin sédimentaire côtier. Le cours inférieur tracé sur les terrains sédimentaires débouche dans le lac Nokoué par un double delta large de 9000 km² et couvert de marécages. Les débits sont de l'ordre de 2 m³/s à l'étiage en mars, et de 600 m³/s au maximum de la crue en septembre, à la station de Bonou .

La Sô prend sa source à la sortie des marais du lac Hlan. Il coule parallèlement à l'Ouémé et en reçoit des déversements par le truchement de plusieurs marigots jouant le rôle tantôt d'affluents, tantôt de défluent. Ses plus forts débits sont observés pendant les crues d'août-septembre, avec une moyenne de 40 m³/s (Oyébé, 1991).

Hydrologie marine

L'océan atlantique Sud est une très vaste étendue d'eaux salées animées de mouvements ondulatoires générés par les astres, les tempêtes et les vents locaux. Ces mouvements se traduisent par des phénomènes de marée, de houle, de vagues et de mers de vent qui sont à l'origine des courants côtiers influençant l'ensemble des milieux littoraux de ce golfe.

La période de marée est d'environ 12 heures (marée semi-diurne) avec des marnages extrêmes allant de +1,95 m et -0,20 m, et dont l'amplitude se situe autour d'un mètre (Sitarz, 1960, Rossi, 1989). Les courants de marée sont généralement faibles sur la côte. Par contre, ils ont un effet déterminant sur l'évolution des débouchés lagunaires.

Les directions et le régime des houles sont liés à des tempêtes dans l'Atlantique Sud (Guilcher, 1959 ; Anthony, 1990) et accessoirement aux vents locaux, surtout en été, de mai à septembre (CEDA, 1998 ; Kaki et al., 2001). Les directions sont constantes et montrent une prédominance des tendances S à SW (Rossi, 1989).

Il existe sur la côte du Bénin deux saisons de houles : une première saison de faibles houles qui va d'octobre à mai où les hauteurs des houles ne dépassent pas généralement un (1) mètre en moyenne ; une saison de fortes houles de mai à septembre où les hauteurs peuvent atteindre et dépasser deux (2) mètres ; c'est au cours de cette deuxième saison que les destructions les plus catastrophiques sont causés aussi bien à la Bouche du Roi qu'à l'Est du Port à Cotonou et les bâtiments tombent dans l'eau. La période de la houle est comprise entre 10 s et 15 s avec une fréquence moyenne de 11 - 12 s. L'obliquité de la houle au déferlement varie entre 4° et 9°, avec une moyenne autour de 6°-7°. Cette obliquité entraîne une dérive littorale dirigée d'Ouest en Est et responsable du transport de 1 500 000 m³ de sable chaque année, de Lomé à Cotonou (PNUD, 1987).

2. Géomorphologie et géologie

Le domaine littoral béninois est une zone comprise entre la profondeur de fermeture et la latitude des débouchés fluviaux dans les lagunes-vives. Il comprend une plaine côtière qui se prolonge en mer par une plateforme continentale.

a. La plaine côtière

La plaine littorale est faite de cordons sableux. Ces cordons sableux hérités de la dernière transgression holocène constituent le bâti sédimentaire des deux systèmes estuariens décrits ci-dessous. On y distingue, du Nord au Sud, trois générations de cordons (Fig.2) :

- Le cordon interne de "sable jaune" s'étend de façon continue des environs de Cotonou à Ouidah. Ailleurs, il est réduit à de petits lambeaux allongés au Sud des plateaux de terre de barre. Il est exploité pour les remblais et le rechargement des voies.
- Le cordon médian de "sable gris à blanc" se situe au Sud des sables jaunes dont il est séparé par la dépression de Wègba ou Outobo. Ce cordon, d'une altitude de 2 à 3 mètres, s'étend jusqu'en bordure de la lagune côtière. La faible altitude de ce cordon entraîne son recouvrement par les eaux pendant les crues des cours d'eau.
- Le cordon externe de sable brun : il représente la plage actuelle battue par les houles déferlantes. Les ouvrages portuaires édifiés sur la côte et les barrages hydroélectriques installés sur les cours d'eau tributaires de l'océan atlantiques contribuent à déstabiliser l'équilibre de ce cordon. Son exploitation pour les travaux de BTP vient d'être interdite par l'Etat.

L'étude granulométrique et minéralogique montre que :

- Le cordon interne est constitué de sables quartzes moyens à fins, très peu argileux (moins de 10%), plus ou moins classés et assez homogènes. L'argile est essentiellement kaolinique et les minéraux lourds sont constitués de nombreux minéraux opaques et de minéraux ultrastables (Zircon, disthène et rutile) qui sont le reflet des plateaux de terre de barre bordant le domaine margino-littoral.
- Le cordon médian est constitué jusqu'à 95% de sables quartzes moyens à grossiers, bien classés, contenant, en plus des minéraux lourds présents dans les sables jaunes, de faibles indices minéralogiques marquant un apport lointain par les cours d'eau, à partir des roches du socle situé plus au Nord.
- Les sables bruns de la plage actuelle (cordon externe) sont, du point de vue granulométrique, très voisins des sables du cordon médian. La composition

minéralogique reflète plutôt une rareté en minéraux caractéristiques du premier cordon (cordon interne) et un enrichissement en minéraux du socle (staurotide, grenat, amphibole, épidote).

b. La plateforme continentale

Le bâti sédimentaire de la zone littorale sous-marine correspond au plateau continental. De forme trapézoïdale, le plateau continental béninois couvre une superficie voisine de 2800 km² entre les isobathes 10 et 100 m (Crosnier et Berit, 1963). D'une longueur de 125 km environ, sa largeur varie entre 22 et 24 km à l'Ouest jusqu'à Ouidah et atteint environ 32 km à la frontière bénino-nigériane à l'Est.

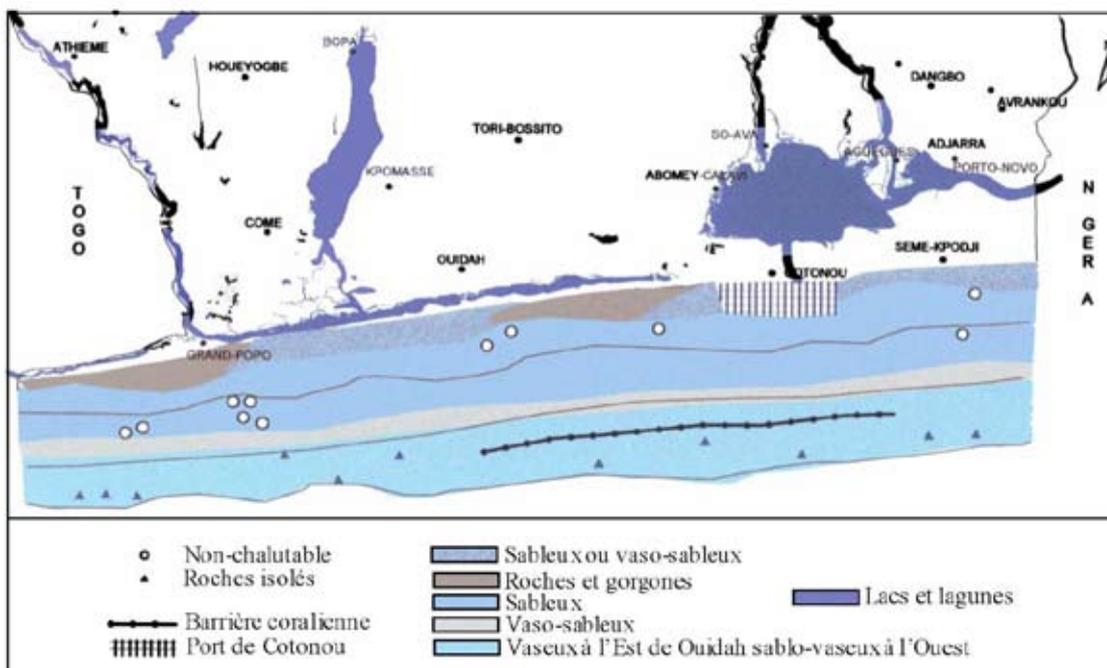
La limite des eaux territoriales, à partir de la laisse de basse mer est de 12 milles marins, soit en moyenne de 22 km.

D'une façon générale, la pente est douce entre les fonds de 10 à 35 m environ. Une rupture de pente assez légère s'observe entre 35 et 45 m. Ensuite, celle-ci se maintient régulière jusqu'à une limite coïncidant avec la barrière de corail. Au-delà de cette barrière, la pente est régulière jusqu'à la chute du plateau, mais elle est parsemée de têtes rocheuses d'origine corallienne (confère carte ci-dessous).

D'après leur nature et leur orientation, le regroupement des fonds dans leur globalité permet de distinguer 4 strates différentes se succédant parallèlement de la côte jusqu'à la pente continentale. Ce sont :

- la strate (I) : sableuse ou vaso-sableuse jusqu'à 17 m de profondeur et contenant des roches à gorgones ;
- la strate (II) : purement sableuse de 17 à 35 m ;
- la strate (III) : sablo-vaseuse de 35 à 55 m ;
- la strate (IV) : vaso-sableuse à l'Ouest de Ouidah et purement vaseuse à l'Est, de 55 à 100 m de profondeur.

Figure 4 : Géomorphologie et Géologie de la plate-forme béninoise



3. Environnements floristiques et faunistiques du littoral béninois

L'environnement physique du littoral béninois est caractérisé par deux systèmes estuariens submergeant un bâti sédimentaire fait de cordons sableux quaternaires. Les sols qui s'y développent sont plus ou moins hydro morphes, salants, riches en matières organiques et très fertiles, mais saisonnièrement inondés par les crues des fleuves Ouémé-Sô et Mono-Couffo. De ce fait, l'environnement physique du littoral béninois est qualifié de zone humide. La flore et la faune inféodée sont riches et variées. Elles sont réparties autour des deux systèmes estuariens.

Le secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo est caractérisé par une forêt de mangrove, une formation spéciale halophile, très riche en biodiversité et qui peuple les rivages sur des sols vaseux ou sablo-vaseux hydro morphes et asphyxiques. Elle s'étend sur les rives de la basse vallée des fleuves Mono et Sazoué, du lac Ahémé, du chenal Aho et de la lagune côtière. Sa superficie est de 30 Km². Les espèces végétales qui peuplent ce milieu sont *Rhizophora racemosa*, *Avicennia africana*, *Avicennia germinans*, *Avicennia nidita*, *Dalbergia ecastaphyllum*, *Laguncularia racemosa*, *Drepanocarpus lunatus*, *Phoenix reclinata*, etc.. Le peuplement animal inféodé à ce site comprend 71 espèces d'ichtyofaune dont *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis*, une faune aviaire (surtout les hérons, des Limicoles, des rapaces, des Dendrocygnes et des Sternes) et non aviaire (mangoustes, potamochère, lamantin, python de sebae, python royal, tortues terrestres et marines et quelques primates, CEDA, 2007). De ce fait, ce secteur côtier fait l'objet d'une réglementation particulière en application de la Convention de Ramsar (Site Ramsar n° 1018, d'une superficie de 47500 ha).

Le secteur côtier de l'estuaire de l'Ouémé-Sô est par contre caractérisé par des forêts marécageuses d'eau douce à *Mitragyna inermis*, *Raphia hookeri*, *Berlinia grandiflora* et *Dalium guineense*, associées à des prairies inondables à *Paspalum vaginatum* et *Typha australis* et à une végétation flottante dominée par *Eichornia crassipes* et *Pista stratiotes*. La densité des espèces forestières de mangrove y est faible. L'ichtyofaune de ce secteur est riche de 78 espèces de poissons dont les tilapias (07 espèces), notamment *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis*. La faune aviaire est composée de 168 espèces parmi lesquelles on dénombre les mêmes espèces rencontrées dans le secteur de l'Ouest ; il en est de même de la faune non aviaire (CEDA, 2007). Ce secteur est également soumis à la Convention de Ramsar (site Ramsar n°1017 sur une superficie totale de 91 600 ha couvrant la Basse Vallée de l'Ouémé, la Lagune de Porto – Novo et le Lac Nokoué).

2.2 CARACTERISTIQUES ANTHROPIQUES

1. Populations côtières : ethnies et démographie

La zone littorale du Bénin est habitée par une multitude de groupes socioculturels qui se répartissent du point de vue linguistique en deux grands groupes :

- le groupe GBE, numériquement plus important et comprenant les ethnies généralement attribuées à l'aire d'Adja-Tado (Fon, Aïzo, Goun, Mina, Wémé, etc.) ;
- le groupe EDE comprenant les Yorouba, Nagot et apparentés.

A ces deux grands groupes de base s'ajoutent plusieurs autres ethnies nationales ou étrangères faisant ainsi de la zone littorale béninoise une zone très cosmopolite.

Le Sud-Bénin comporte trente circonscriptions urbaines (ou Communes) soumises aux influences littorales (ABE, 2002). De ces trente Communes, cinq sont directement ouvertes sur l'océan atlantique : il s'agit des Communes de Grand-Popo, de Ouidah, d'Abomey-Calavi, de Cotonou et de Sèmè-Kpodji. L'effectif et la densité des populations de ces cinq Communes en 1992 et en 2002 sont présentés dans le tableau ci-dessus. Ce tableau montre que la Commune de Cotonou est déjà densément peuplé en 1992 (6800 hbts/km², tableau 1). Néanmoins, le taux d'évolution n'a cessé de s'accroître (24% de 1992 à 2002). Par ailleurs, il faut noter que l'explosion démographique de la Commune de Cotonou se répercute depuis peu sur les Communes de Sèmè et d'Abomey-Calavi. En effet, ces deux Communes situées de part et d'autre de celle de Cotonou ont connu entre 1992 et 2002 des taux d'accroissement respectif de 77% et de 143%. Les Communes de Ouidah et de Grand-Popo encore moins peuplées jusqu'en 2002 sont déjà pris d'assaut de nos jours, sous l'attrait que présente l'ensemble de la zone littorale du Bénin.

Tableau 1 : Evolution démographique de la population des Communes s'ouvrant sur la mer

Communes	Superficie (Km ²)	Nombre total d'habitants		Densité (hbts/km ²)		Variation (%)
		En 1992	En 2002	En 1992	En 2002	
Grand Popo	289	33079	40335	115	140	21,9
Ouidah	336	64413	76555	192	228	18
Abomey-Calavi	539	126507	307745	235	571	143
Cotonou	79	536827	665100	6795	8419	23,8
Seme Kpodji	218	65016	115238	298	529	77,2

Source : Recensement Général de la Population et de l'Habitat, 1992 et 2002

2. Activités socio-économiques

Le littoral béninois offre plusieurs activités socio-économiques telles que la pêche, la saliculture, l'agriculture, l'élevage, ... (relevant du secteur primaire), auxquelles s'ajoutent le tourisme et le transport.

a. Les activités du secteur primaire

Les nombreux atouts et potentialités (plans d'eau riche en ichtyofaune, cordons sableux, sols hydromorphes à prairies, forêts de mangroves ou d'eau douces, des marais salants...) que dispose le littoral béninois sont plus ou moins bien exploités et servent aux :

- a) cultures de décrue et production maraîchère,
- b) plantations de cocotiers,
- c) productions de sels,
- d) élevages de bovin (race lagunaire) et de porcine ;
- e) élevages non conventionnels (aulacode, escargot, vers de terre...),
- f) pêches et piscicultures.

Ces différentes activités jouent un rôle primordial compte tenu de leur contribution à la réduction du chômage. Elles concourent de ce fait au développement économique du pays, même si elles contribuent à la dégradation du couvert végétal (agriculture et saliculture) et à la détérioration des habitats écologiques (pêche). En 2001, une superficie de 83 ha de marais salants a été exploitée au Bénin, essentiellement par les communes de Grand-Popo (27,38%) et de Ouidah (66,46%).

b. Le tourisme

Le littoral béninois constitue une zone hautement touristique. Il est caractérisé par la présence de grands attraits formant des Zones d'Intérêt Touristiques (ZIT).

Au niveau du secteur adjacent à l'estuaire du Mono-Couffo, on distingue :

- la ZIT de la "Bouche du Roi" offrant un attrait particulier par sa splendeur de cet environnement encore à l'état naturel ;
- la ZIT des cordons sableux littoraux dont le potentiel touristique est surtout lié à certains monuments historiques (la Porte du Non-Retour, la Route des Esclaves), aux infrastructures hôtelières bordant des plages (Casa del Papa, Djègba, ...), à des portions de plages bien aménagées (plage de Djègbadji, ...), à lagune côtière qui offre des possibilités de croisière, etc ;
- La ZIT du lac Ahémé encaissé dans un fossé d'effondrement et qui, de ce fait constitue un site pittoresque.

Le secteur de côte adjacente à l'estuaire de l'Ouémé-Sô comprend aussi :

- la ZIT du lac Nokoué qui abrite la Cité lacustre de Ganvié, déclarée patrimoine culturel mondial ;
- la ZIT des cordons littoraux (plages sableuses).

D'après l'INSAE, le nombre de personnes occupées dans le tourisme serait 21.935 dont 26,51% d'emploi permanents et 73,49% d'emplois saisonniers.

c. Les transports maritimes lagunaires et terrestres

Le littoral béninois offre la possibilité de transport maritime grâce à son unique port édifié sur la côte béninoise dans la ville de Cotonou, en 1962. Il a une capacité d'accueil de 2000 000 tonnes /an. La voie d'eau est très utilisée pour le transport, notamment pour les communautés riveraines des plans d'eau lagunaires (lacs ahémé et Nokoué, lagunes côtière et de Porto-Novo). C'est la principale voie de transport des produits maraîchers vers les lieux de commercialisation (marchés). Elle sert aussi pour le tourisme et pour la desserte des produits pétroliers informels. Le transport routier est assuré par un important réseau de routes côtières. Néanmoins ici, la demande reste toujours très forte.

III. APPROCHE METHODOLOGIQUE

3.1 DONNEES UTILISEES

Le matériel utilisé pour ce travail est essentiellement constitué d'images satellitaires Landsat, Ikonos et QuickBird.

Les images Landsat utilisées proviennent des catalogues d'images d'archives issues de l'instrument TM (Thematic Mapper) de Landsat 5. Trois scènes datant de 1984, 1988 et 1998 ont été téléchargées via le site <http://glovis.usgs.gov/>. Ces images sont référencées dans la grille d'indexation WRS 2 (Worldwide Reference System). Dans la fenêtre de téléchargement, les trois scènes sont rangées dans le dossier correspondant à la ligne 56 (Row 56). Ce dossier est lui aussi classé à l'intérieur d'un répertoire équivalent à la trace 192 (Path 192). Chaque image couvre le littoral du golfe de Guinée, du delta du Niger (au Ghana) jusqu'au lac Nokoué (au Bénin).

Toutes les scènes sont directement ortho rectifiées et projetées dans le système de projection UTM/WGS84 et chacune d'entre elles est accompagnée de métadonnées précisant les paramètres d'acquisition, le type de capteur, le type de satellite, la date, etc. La résolution spatiale varie suivant la longueur d'onde de chacune des sept bandes spectrales dans lesquelles opère le capteur TM. Toutefois, les images dérivées des données brutes sont livrées sous un format standard avec une résolution de 30 m. Cette résolution bien que décimétrique convient assez bien pour apprécier l'ampleur des évolutions notées dans notre secteur d'étude, car celles-ci sont caractérisées par des phénomènes de migration d'une flèche sableuse à des vitesses de plusieurs centaines de mètres par an.

Trois quicks-looks d'images satellitaires ont été téléchargés. L'un correspond à l'image Ikonos du 17 octobre 2002 prise en mode mustispectral avec une résolution de 4m. Il est téléchargé du site <http://imagesearch.geoeye.com/>. Les deux autres proviennent du site <http://www.digitalglobe.com> et correspondent aux images QuickBird du 25/11/06 et du 10/01/09 prises avec une résolution de 2,5m, en mode mustispectral. Les quick-looks sont disponibles sur les sites sus-cités en format consultable (PNG pour les images QuickBird et format JPEG pour les images Ikonos). Bien qu'ils soient en format consultable, la résolution de ces quick-looks est beaucoup meilleure à celles des images Landsat utilisées.

Ces différents matériels ont permis d'apprécier la cinématique spatio-temporelle du secteur côtier étudié, grâce aux approches méthodologiques suivantes.

3.2 LIGNE DE REFERENCE SELECTIONNEE

L'indicateur choisi pour le référencement du trait de côte est la ligne instantanée du rivage. Elle est l'indicateur le plus facilement repérable sur les images utilisées. De plus cet indicateur convient assez bien dans notre secteur d'étude où le marnage moyen n'est que de 1m.

Pour les différentes dates retenues, la numérisation de l'entité de référence choisie est effectuée par photo-interprétation assistée par ordinateur. Ainsi, la ligne instantanée de rivage est repérée et digitalisée à l'écran avec une souris sur les différents fonds d'images,

grâce au logiciel Arc View 3.2. Il faut noter que l'opération a été relativement aisée et nous n'avons pas été confrontés à des difficultés pour repérer cette ligne instantanée représentée par la transition entre les populations de pixels des zones terrestres et marines. En effet, le secteur étudié était exempt de nuages et présentait un bon contraste de couleurs sur toutes images considérées (Fig. 5).

Figure 5 : Mise en évidence de la ligne instantanée de rivage sur l'image QuickBird du 25/11/2006



3.3 TECHNIQUE D'ACQUISITION DE LA LIGNE DE REFERENCE SELECTIONNEE

Avant d'exploiter les trois images Landsat obtenues, nous avons évalué leur qualité géométrique en superposant des éléments linéaires comme les méandres des cours d'eau par exemple. Une bonne conformité a été notée entre les trois scènes utilisées. Le secteur d'étude a été ensuite délimité et extrait des trois scènes au moyen du logiciel Erdas Imagine 8.5. Les dimensions des images Ikonos et QuickBird ont été également réduites à celles du secteur d'étude. Nous avons ensuite recalées chacune des images Ikonos et QuickBird sur les images Landsat avec une dizaine de points de calage et une transformation polynomiale de premier degré au moyen du même logiciel (Erdas Imagine 8.5) ; ce qui nous a permis d'obtenir finalement une bonne superposition des images.

Enfin, sur chacune des images satellitaires disposées, l'indicateur du trait de côte a été sélectionné par photo-interprétation assistée par ordinateur, au moyen du logiciel ArcView GIS 3.2.

3.4 METHODES, OUTILS ET TECHNIQUES DE MESURES DES EVOLUTIONS OBSERVEES

Entre les traits de côtes multidates sélectionnés, les évolutions observées ont été évaluées au moyen du Digital Shoreline Analysis System (DSAS) dans l'environnement du logiciel Arc View 3.2. Mille quarante (1040) transects ont été réalisés. Ils sont distants de 10m les uns des autres. Les résultats obtenus sont traduits en volet graphique statistique (au moyen du tableur Excel) et comparés au volet cartographique du secteur étudié.

3.5 ESTIMATIONS DES MARGES D'ERREUR

Les principaux facteurs d'imprécision estimables sont ceux induits par la taille du pixel et le recalage des images Ikonos et QuickBird. En plus de ces incertitudes, les inégalités des niveaux de marée lors de l'acquisition des images génèrent une erreur supplémentaire sur la position de la ligne instantanée de rivage.

La prise en compte de ces facteurs amène à considérer une marge d'erreur de 66 m pour chacune des images étudiées. La démarche adoptée pour l'évaluation de cette marge d'erreur est décrite ci-dessous.

1. Imprécision due à la taille du pixel et au recalage des images Ikonos et QuickBird

La résolution spatiale des images Landsat exploitées est de 30 m. Nous avons ainsi fixé l'incertitude à 30 m (résolution initiale des images) sur les trois images Landsat qui n'ont subi aucune correction géométrique. Pour les images Ikonos et QuickBird recalées sur images Landsat, l'erreur RMS totale, se situe entre 0,45 et 0,7. Bien que visiblement leur résolution soit meilleure, nous avons fixé l'incertitude relative à ces deux images (Ikonos et QuickBird) à la taille du pixel de l'image Landsat qui a servi pour leur recalage. L'erreur considérée pour ces images est donc de 30 m également.

2. Erreurs liées aux variations des niveaux instantanés de marée sur les images

Sous l'effet de la marée, l'erreur potentielle pouvant entacher la précision de la ligne instantanée de rivage correspond à l'écart horizontal d entre la position du rivage de basse mer et celle de la haute mer. Cet écart dépend donc de la pente de l'estran et du marnage de la marée. Elle peut être évaluée par la relation géométrique suivante (Thomas et al., 1998 in Faye, 2010) :

$$d = h/\tan(\alpha)$$

- d est la largeur de l'estran couverte ou découverte en fonction de la marée,
- h est la hauteur de la marée au moment du passage du satellite,
- α la pente de l'estran.

Puisque nous ne disposons ni de la valeur de la pente, ni de celle de la marée au moment de la prise des images, nous considérons :

- pour la valeur de h , le marnage moyen de la marée fixé à 1m dans la littérature ;

- pour la valeur de ●, la valeur moyenne des pentes d'estran mesurée par nous même, dans le secteur d'étude, entre 2007 et 2009. Celle-ci est en moyenne égale à 17%.

●d est donc d'environ 6m.

3. Erreurs liées à la digitalisation des lignes de référence

Sur chaque image, l'indicateur du trait de côte a été obtenu par photo-interprétation assistée par ordinateur dépend. La précision de cette digitalisation dépend de plusieurs facteurs dont l'expérience du photo-interprète et son appréciation de la ligne de référence, laquelle est aussi conditionnée par la résolution et la qualité radiométrique des images (Faye, 2010). Par conséquent, la ligne acquise par cette méthode est approximative. Mais au vu de la qualité de nos images, nous pouvons considérer que l'erreur ne peut dépasser la taille du pixel des images utilisées, c'est-à-dire 30 m.

Au total la marge d'imprécision considérée pour chaque image est de 66 m. Elle comprend l'erreur liée à la résolution de l'image (30 m), celles liées à la marée (6 m) et à la digitalisation du trait de côte (30 m).

IV. EVOLUTION DIACHRONIQUE DE LA POSITION DU TRAIT DE CÔTE

Le secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo est celui concerné par cette étude (Figs. 1 et 2). Mais conformément à la recommandation du comité de sélection des propositions, nous abordons d'abord l'historique de l'évolution de secteur côtier de l'estuaire de l'Ouémé-Sô avant de présenter les résultats obtenus sur le site qui a fait l'objet de cette étude.

4.1 HISTORIQUE DE L'EVOLUTION DU SECTEUR COTIER DE L'ESTUAIRE DE L'OUEME-SO

Avant la construction du Port, l'élément géomorphologique majeur qui influence la dynamique de ce secteur côtier est l'embouchure de l'estuaire de l'Ouémé-Sô (Fig.2), une embouchure artificielle, ouverte en 1885 par l'administration coloniale pour conjurer le problème d'inondation qui menaçait saisonnièrement la ville de Cotonou durant les périodes de crue des fleuves Ouémé-Sô (septembre-octobre). Entre 1885 et 1962, la puissance de la dérive littorale a régulièrement refermé cette embouchure qui se rouvrait à chaque fois que l'inondation devenait menaçante. En 1962, le port maritime de Cotonou est construit sur les plages de ce secteur, à proximité de l'embouchure de l'estuaire (Fig. 2). Au même moment, des ouvrages de défenses (épis) ont été érigés à l'Ouest des ouvrages portuaires sous forme de mesures d'accompagnement afin de limiter l'ampleur des dégâts. Néanmoins, depuis lors, ce secteur évolue dans un contexte d'érosion et d'accumulation, sous l'influence du port et des ouvrages d'accompagnement (épis).

1. Evolution du rivage

Après la construction du port et des ouvrages d'accompagnement, deux zones apparaissent dans le rivage : une zone puits (à l'Ouest du port) et une zone source (à l'Est). De février 2002 à octobre 2003, un suivi régulier du littoral a été réalisé sur 11 sites situés de part et d'autre du Port de Cotonou. Au cours de ce suivi, nous procédons, à chaque visite de terrain, à la description des profils de plage et à la mesure de l'avancée / recul de la mer à l'aide d'un mètre ruban.

En 2005, Laïbi a étudié l'évolution du trait de côte dans ce secteur en se basant sur une carte topographique de 1963, deux missions de photographies aériennes (missions 1981 et 1995) et des images satellitaires Ikonos de 2000. Les lignes de rivages instantanés télédétektés à partir de ces différentes données iconographiques lui ont permis d'apprécier le rythme des évolutions (engraissement/érosion) dans ce secteur, entre 1963 à 2000. Ainsi :

- les vitesses maximales de recul ou d'avancée du trait de côte entre deux époques ont été appréciées à partir de l'écart maximal entre les rivages correspondant aux deux époques considérées ; suivant la perpendiculaire aux deux rivages (Robin, 2002).

- les érosions ou engraissements surfaciques ont été calculés à partir des polygones circonscrivant les surfaces érodées ou engraisées, d'après la méthode de polygone cinématique énoncée par Robin (2002).

Les évolutions cinématiques et les profils de plage caractéristiques des deux zones distinguées (zone source et zone puits) dans ce secteur sont présentés ci-dessous (Figs. 6 à 8).

a. Cinématique de la zone source

- Entre 1963 et 1981 (Figs. 6 et 7)

L'écart entre les deux lignes de rivage (de 1963 et de 1981) dans la partie de concavité maximale est de 380 m, équivalant à une durée de 18 ans (de 1963 à 1981). Soit une vitesse d'érosion de 21 m/an.

La surface cinématique érodée est de 145 ha.

- Entre 1981 et 1995 puis 1981 et 2000 (Figs. 6 et 7)
 - pour la période de 1981 à 1995 : 135 m de bande maximale de terre engloutie sur une durée de 14 ans, soit une vitesse d'érosion de 10 m/an ;
 - pour la période de 1995 à 2000 : 55 m de bande de terre engloutie en 5 ans, soit une érosion de 11 m/an.

Actuellement, il est connu de tous que ce secteur continue d'évoluer dans ce contexte d'érosion perceptible à travers le cliché photographique ci-dessous, à un rythme moyen de 10 m/an.

b. Cinématique de la zone puits

Entre 1963 et 1981, la plage à l'Ouest immédiat du port (zone puits, Fig.6) a connu un engraissement de 450 m. Très rapidement, la capacité de l'épi d'arrêt du sable du port a été donc dépassée et celui-ci a été prolongé de 300 m vers le Sud. Depuis, l'engraissement s'est poursuivi et actuellement, toute la largeur des 300 m correspondant à la rallonge de l'épi est déjà occupée par la plage. Il est maintenant envisagé un second prolongement de l'épi d'arrêt du sable, encore sur une distance de 300 m vers le Sud.

c. Évolution de quelques profils de plage

Nous présentons sur la figure 8, quatre stations au niveau desquelles de rapides changements morpho dynamiques s'observaient même depuis les suivis antérieurs (Kaki et al., 2001).

Djègbadji : d'avril à août 2002, la plage de Djègbadji a connu une érosion qui a emporté environ 5 m cordon sableux en 4 mois. De novembre 2002 à novembre 2003, on assiste à un engraissement progressif de cette plage.

Jacquot : La plage à Jacquot présente un profil dissipateur. En 14 mois, de juin 2002 à août 2003, 18 m de plage ont été abandonnés par la mer. Cette plage montre globalement un engraissement. Toutefois, elle connaît parfois des érosions sporadiques qui rendent son profil réflexif.

Hôtel Eldorado : Le point d'observation est situé immédiatement à l'est de l'hôtel Eldorado bordé par l'épi est. C'est la zone source ou zone de la crique qui, paradoxalement, est encore densément occupée par les pêcheurs (Photo 1). Elle montre un profil resté très réflexif (photo1). En 15 mois, 11,5 m de cordon littoral fut englouti par la mer, faisant disparaître sous l'eau bidonvilles et pirogues de pêches accostées (Photo1). En réalité, immédiatement après cet hôtel de M. da Silva, la mer fait une incursion sur le continent, érode le cordon en aval de l'épi et isole l'hôtel en presqu'île. Elle provoque la ruine des constructions, routes et autres infrastructures côtières (photo 2), laissant ainsi observer sur le continent une parabole d'érosion (Photo 3) avec une crête située à peu près à la verticale de Yagbé (Fig. 6).

Sèmè : Le profil de la plage de Sèmè est très réflexif laissant apparaître des falaises d'érosion très abruptes (photo 4). En douze mois, on assiste à une érosion de la plage sur une trentaine de mètres déchaussant cocotiers et menaçant la forêt classée de filaos.

Figure 6 : Etude diachronique par télédétection du secteur de côte adjacent au Port Autonome de Cotonou (Laïbi, 2005)

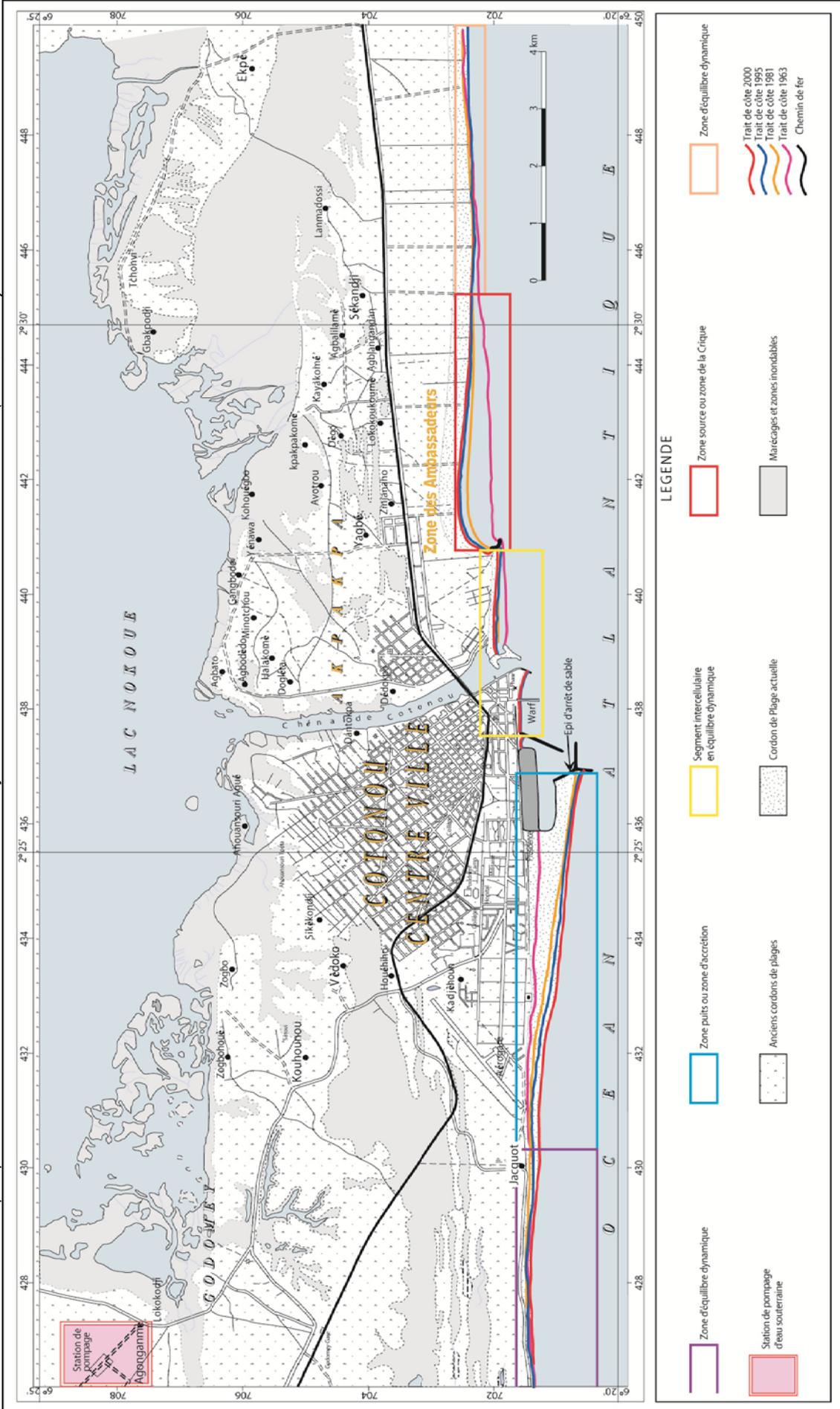
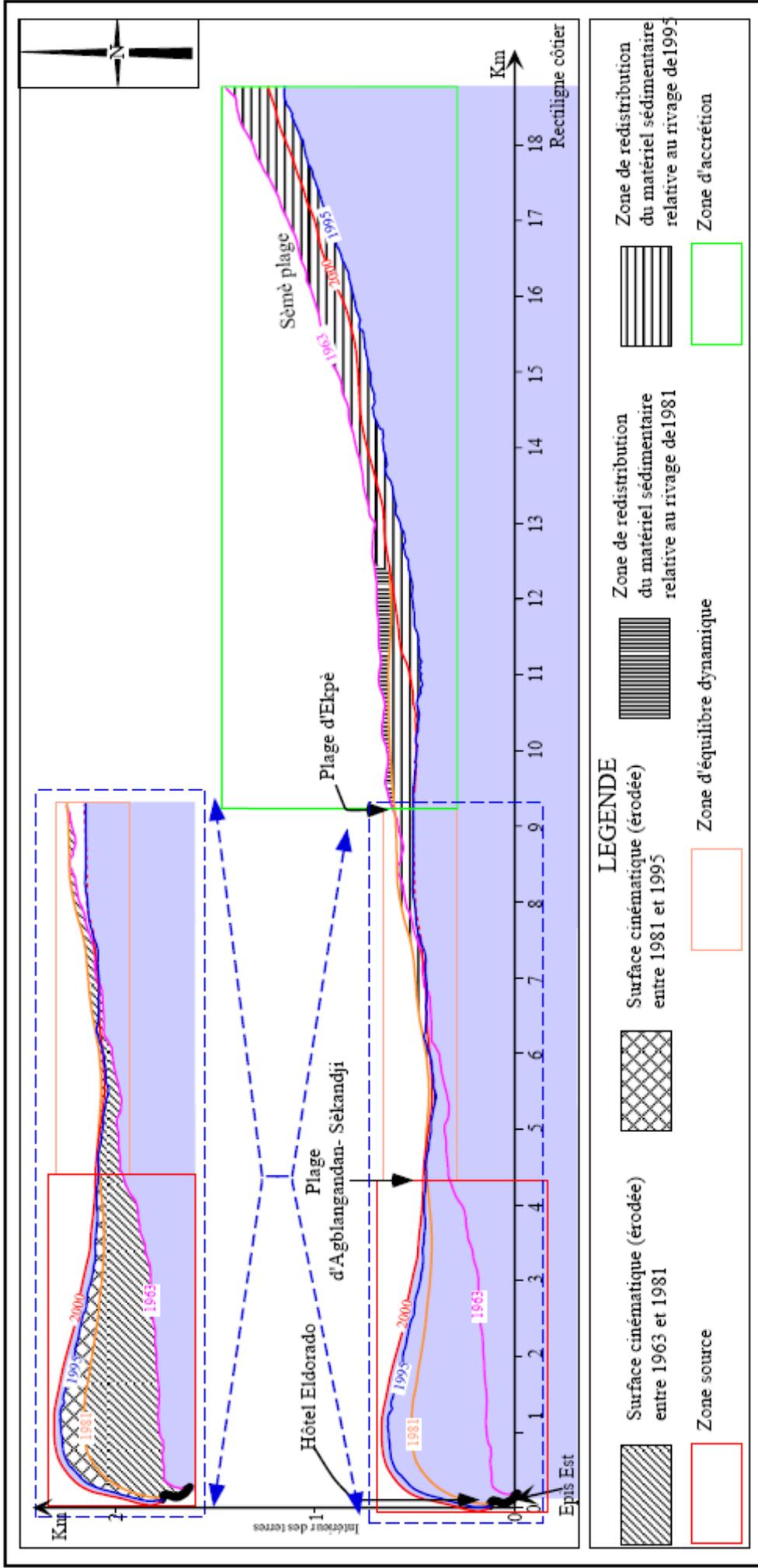


Figure 7 : Détail des évolutions du rivage dans la zone source (crique) entre 1963 et 2000 (Laihi, 2005)



Figures 8 : Evolution détaillée de quelques profils de plage du littoral du Bénin en 2002 et 2003

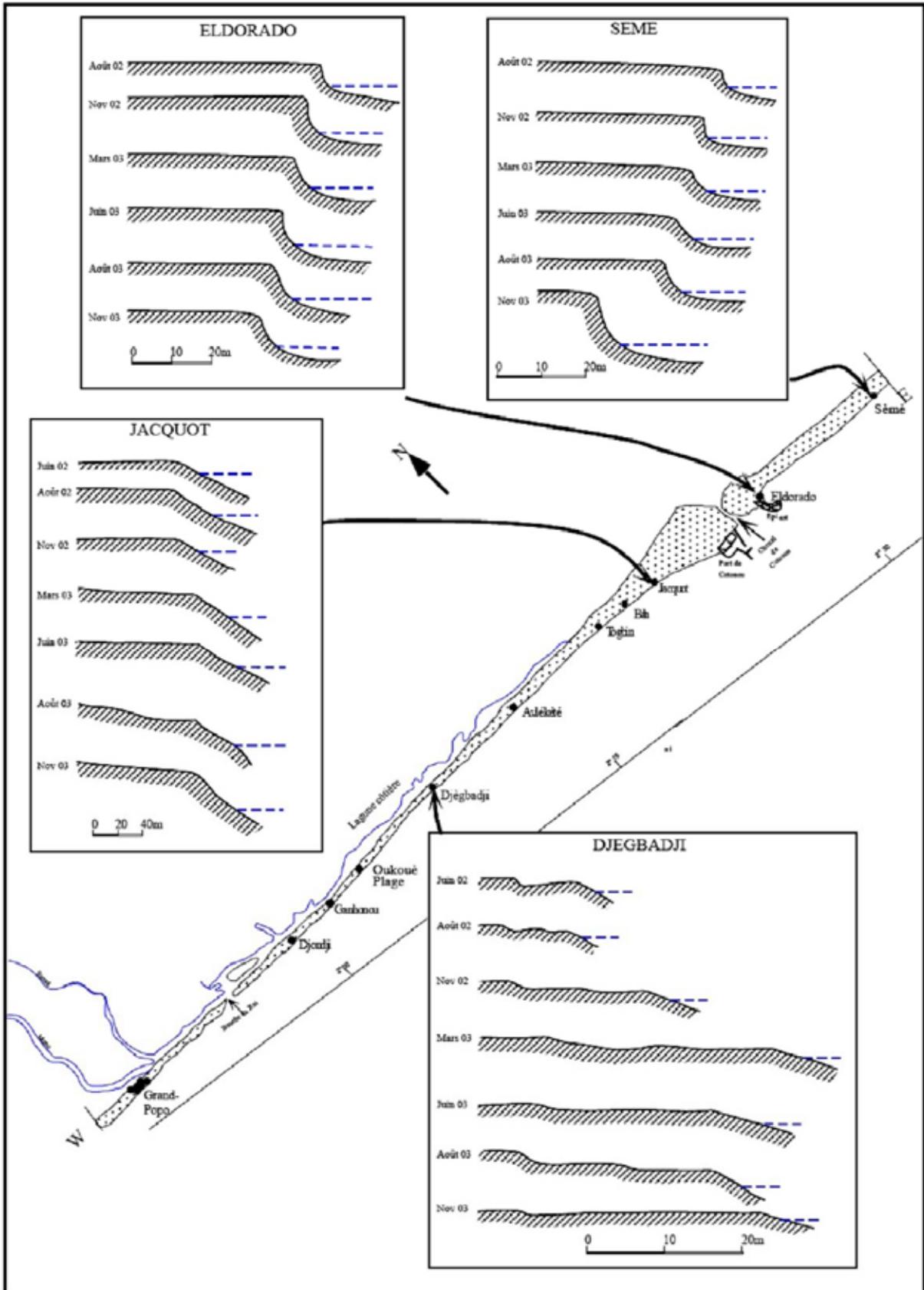


Photo 1 : Zone de la crique montrant l'occupation anarchique du littoral par les pêcheurs



Cliché LAIBI Raoul. Mars 2003

Photo 2 : Ruines d'édifices provoquées par l'érosion dans la zone de la crique



Photo 3 : Zone de la crique montrant la parabole d'érosion à l'intérieur du continent



Cliché LAIBI Raoul. Mars 2003

Photo 4 : Etat d'une zone d'accumulation (après une forte érosion) suite aux perturbations anthropiques : profil réflexif de la plage de Sèmè



Cliché LAIBI Raoul. Août, 2005

Comme le témoignent les cartes et les photos d'illustration, de toute la côte béninoise, c'est la zone source du secteur côtier de l'estuaire de l'Ouémé-Sô qui connaît les plus fortes érosions depuis la construction du port de Cotonou. La vitesse d'érosion dans ce secteur est en moyenne de 10 m/an. Après la construction du port et des ouvrages d'accompagnement (les deux épis de protection), plusieurs autres ouvrages de sauvegarde de la côte ont été expérimentés, mais ceux-ci sont sans succès. Aujourd'hui, les autorités envisagent un autre programme pour la protection de ce secteur.

2. Les ouvrages d'accompagnement réalisés avec la construction du port et leur efficacité

Du fait que les côtes de l'ensemble du golfe de Guinée sont caractérisées par une puissante dérive littorale, il était certain que les ouvrages portuaires devaient transformer le côté ouest du port en une zone puits pour les sédiments mobilisés depuis l'Ouest (par le transit littoral) et que les plages du côté est du port deviendraient une nouvelle zone source d'où seront prélevés les sédiments (par la dérive littorale) pour alimenter les côtes plus à l'Est. Compte tenu de l'emplacement géographique du port, la zone source devrait correspondre au débouché estuarien de l'Ouémé-Sô. Pour éviter la destruction des plages de ce secteur et l'envahissement des systèmes lagunaires par la mer, la réalisation d'ouvrages de protection de côte a été entreprise, au même moment que la construction du port. Ainsi, un épi (épi ouest) est construit sur le rive droite du débouché lagunaire et un autre (épi est ou épis Siafato) à 2 km environ plus à l'est. Ces deux épis sont prévus pour protéger le débouché lagunaire et les grandes infrastructures dont notamment les hôtels PLM Alédjo et Eldorado situés dans ce secteur. Ces épis ont joué et continuer de jouer efficacement leur rôle. Mais depuis 1965 que ces deux épis sont construits, la zone source de sédiments a été reportée à l'aval du dernier épi (épi Siafato). Ainsi, dans cette zone source qualifiée aujourd'hui de crique, l'érosion sévit depuis 1965 (Figs. 6 à 8, Photos 1 à 4).

Il est important de préciser qu'à cette époque, Cotonou (la capitale économique du Bénin) n'avait pas encore connu une grande extension et les zones situées au-delà (à l'Est) de l'épi Siafato étaient quasiment inhabitées. Mais au lendemain de la construction du port, la poussée démographique très rapide de la ville a entraîné l'occupation anarchique des espaces. Il était alors devenu impérieux de protéger la zone de la crique afin d'arrêter le phénomène d'érosion. Des projets d'extension d'ouvrages de protection ont donc été envisagés entre 1997 et 1998. Il s'agit notamment des stabiplates de J. Cornic et des petits épis rocheux appelés épis pilote de l'OUA

a. Les stabiplates

Le stabiplate a été proposé et réalisé par J. CORNIC (Espace Pur, 1996). Selon l'auteur, le stabiplate constitue une solution souple de stabilisation de plage. Il permet de remonter le niveau de la plage, donc de stocker les sédiments comme un épi traditionnel. D'après celui-ci, le stabiplate a la particularité de ne pas perturber l'équilibre sédimentaire à son aval et déclenche un processus d'engraissement général du site.

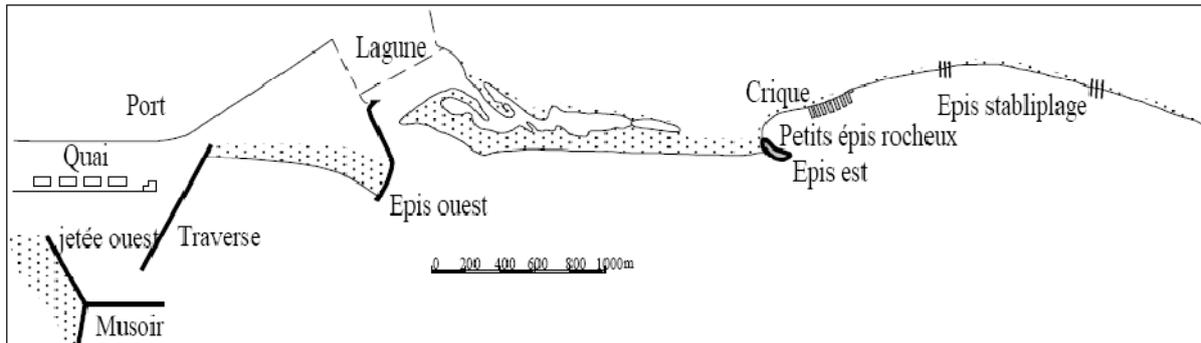
Un dispositif composé de 6 stabiplates disposés en 2 batteries de 3 épis et séparés de 40 m l'un de l'autre (Fig.9) fut alors réalisé en décembre 1997 avec un coût de 370 millions de FCFA.

b. Les petits épis rocheux du Projet pilote O.U.A.

Il s'agit de 7 épis rocheux (Fig.9) de type classique, d'une longueur de 20-24 m chacun, espacés de 40 m l'un de l'autre et disposés entre les stabiplates et l'épi est. Ils sont réalisés en mars-mai 1998 avec un coût d'environ 50 millions de F CFA.

Les stabiplates et les petits épis rocheux réalisés au niveau de cette crique de Eldorado ont manqué d'efficacité et ont été simplement emportés par la mer, moins de deux ans après leur réalisation.

Figure 9 : Localisation des différents épis de protection érigés à l'Est du port de Cotonou



Kaki et al, 2001

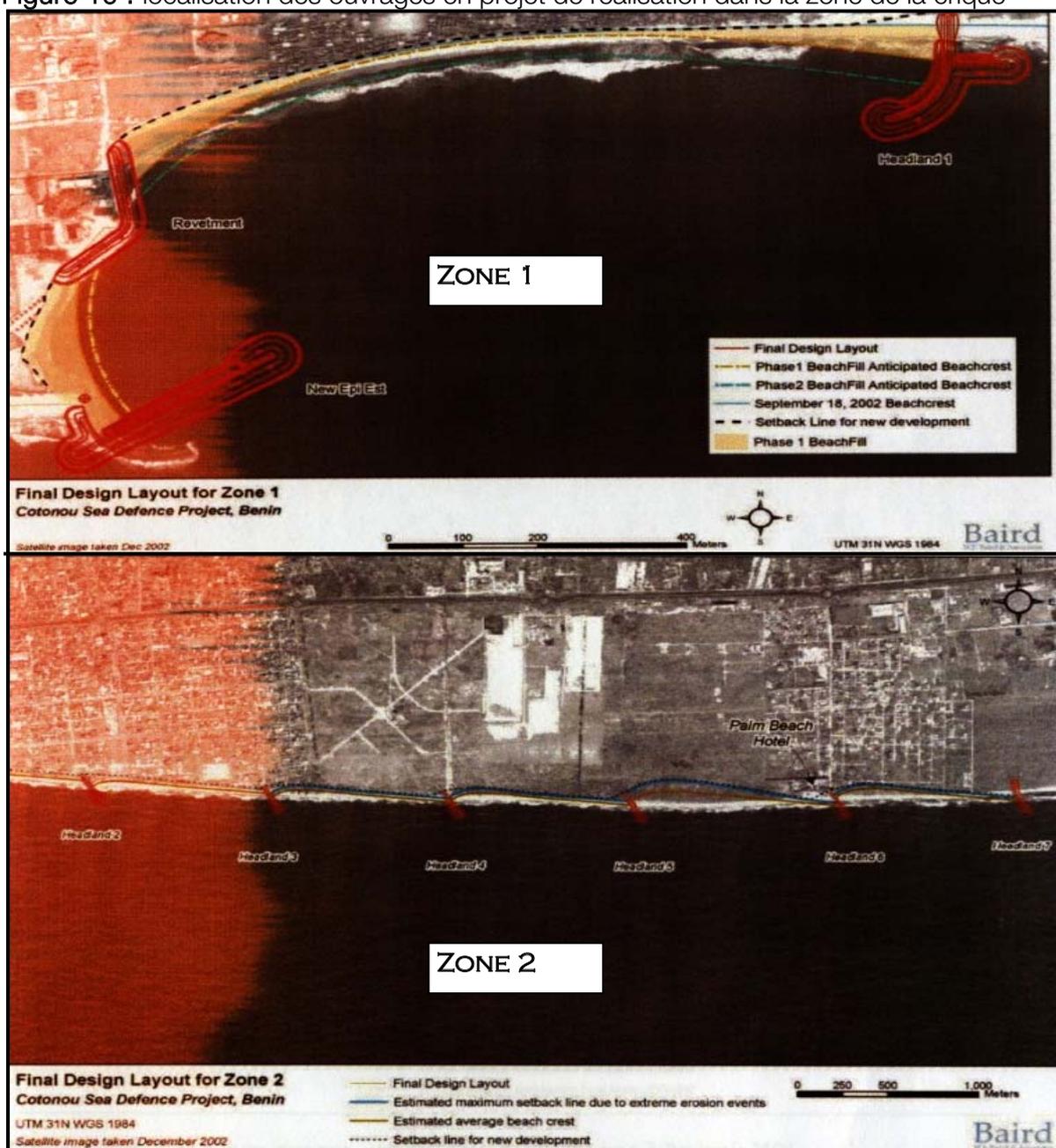
3. Les actions projetées à court terme

Les stabliplages de J. Cornic et des petits épis rocheux de l'OUA étant avérés inefficaces, le Gouvernement a lancé en juin 2009 un autre projet de protection de la zone source (la crique) en proie permanente à l'érosion et qui n'a cessé d'accueillir beaucoup d'infrastructures privées comme publiques. Ce projet consiste à réhabiliter l'épi Siafato, construire un revêtement de consolidation dans la partie la plus sensible de la crique et y construire sept (07) nouveaux épis sur une distance de 7,5 km.

Deux zones sont donc distinguées au sein de la crique (Fig. 10) :

- la zone 1 considérée comme la plus sensible et dans laquelle le projet assurera la réhabilitation de l'épi Siafato, le revêtement du haut de plage et la construction de l'épi N°1 (de 290 m de long) ;
- la zone 2 au sein de laquelle il sera construit six épis (N2 au N7) de longueurs variant entre 160 et 180 m et espacés de 900 à 1100 m

Figure 10 : localisation des ouvrages en projet de réalisation dans la zone de la crique



4.2 PRESENTATION DES RESULTATS SUR LE SECTEUR COTIER ADJACENT A L'ESTUAIRE DU MONO-COUFFO

1. Evolution diachronique

L'unité géophysique caractéristique de ce secteur d'étude est la "Bouche du Roi", une embouchure tidale qui sert de communication entre la mer et l'estuaire du Mono-Couffo. Nous présentons ici la dynamique de cette passe tidale ainsi que la réponse des plages adjacentes, avant et après la mise en service du barrage de Nangbéto.

a. Dynamique de la "Bouche du Roi"

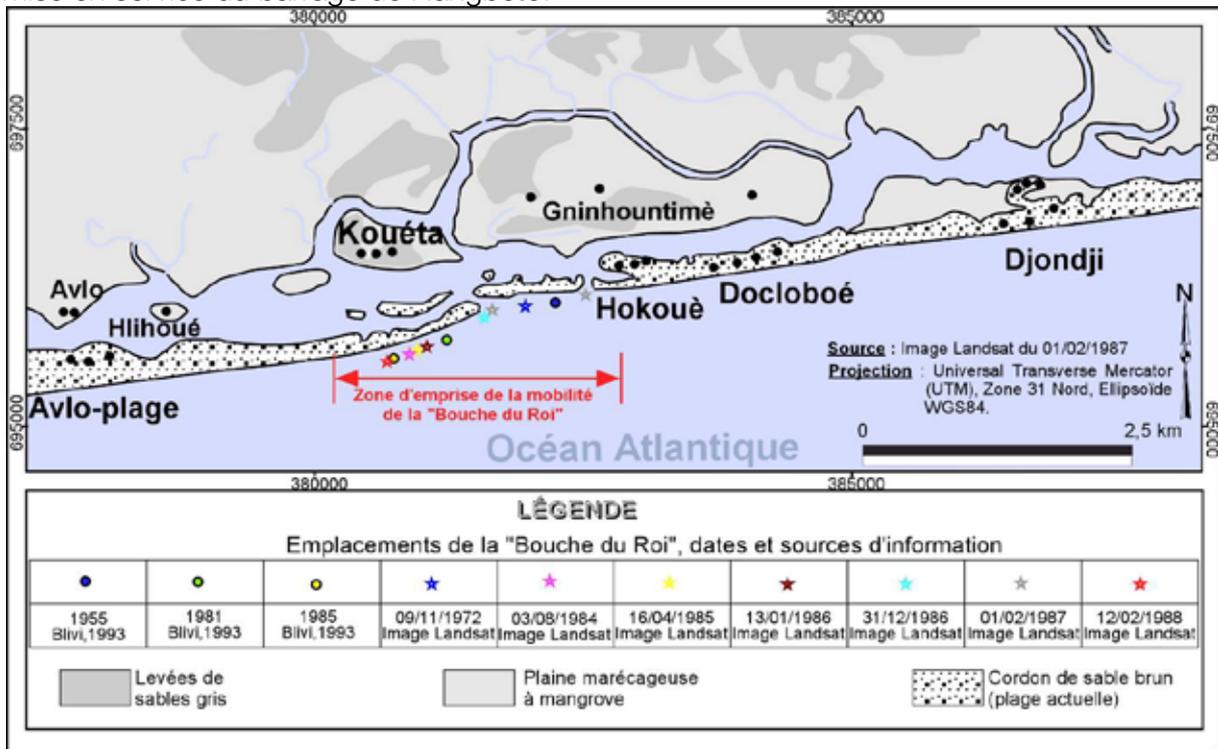
AVANT LA MISE EN SERVICE DU BARRAGE DE NANGBETO

Le barrage de Nangbéto a été édifié sur le fleuve Mono en juillet 1987. Avant la construction de ce barrage, la "Bouche du Roi" était caractérisée par des cycles d'ouverture et de fermeture, les ouvertures n'étant toujours pas naturelles (Pliya, 1976 ; Oyédé, 1991). En effet, sous l'impulsion de la puissante dérive littorale ouest-est, l'embouchure a tendance à se fermer en saison sèche entre décembre et février, mais cette fermeture n'est pas régulièrement annuelle ; la passe pouvant rester ouverte deux ou trois ans avant que ne se produise sa fermeture (Guilcher, 1959, in Pliya, 1976). Lorsqu'elle se ferme, il arrive que les fortes crues du Mono ne suffisent plus à elles seules pour la réouverture, celle-ci s'effectue alors artificiellement par la population riveraine, afin d'éviter les phénomènes d'inondation.

S'appuyant sur les observations de Guilcher (1959) et sur des rapports et documents cartographiques, Blivi (1993) a localisé sur une carte, cinq positions occupées par la "Bouche du Roi" entre 1955 et 1985. Nous avons aussi repéré sur des images Landsat, sept autres positions entre 1972 et 1988 (Fig.11). Il faut reconnaître qu'en cette période, il n'existe pas de données iconographiques successives (dans le temps) permettant de rendre compte, de façon détaillée, de la dynamique spatio-temporelle de cette embouchure. Toutefois, les différents emplacements de la "Bouche du Roi" glanés de la bibliographie et des images Landsat disponibles permettent de dire qu'avant la mise en service du barrage, la zone d'emprise du jeu d'ouverture et de fermeture de la "Bouche du Roi" est située globalement en face de l'île de Kouéta. Toutefois, les images Landsat des années successives (1984 à 1988) ont montré que la section de l'embouchure connaît suffisamment de modifications qui font apparaître parfois de légers déplacements entre l'île de Kouéta et le village de Hokoué. Par ailleurs, de temps à autres, des ruptures en des points fragiles du cordon peuvent s'observer, surtout en périodes de crue du fleuve Mono (Blivi, 1993).

En résumé, à l'état naturel, la "Bouche du Roi" est bien caractérisé par une relative stabilité de position entre les villages Kouéta et Hokoué (Fig.11). Aussi, cette embouchure est-elle contrainte à des cycles d'ouverture et de fermeture, sur une période de temps très courte, sous l'effet de l'hydrodynamisme fluvial du Mono (crue violente, étiage nul) et de la dérive littorale. Le système estuarien du Mono-Couffo (auquel l'embouchure se rapporte) montre ainsi une tendance à l'isolement en saison sèche puis à une communication marine naturelle ou artificielle en saison des pluies.

Figure 11 : Carte montrant la zone d'emprise de la mobilité de la "Bouche du Roi" avant la mise en service du barrage de Nangbéto.



APRES LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE NANGBETO

- Après la mise en eau du barrage, le fonctionnement du système estuarien du Mono-Couffo a notablement changé, surtout au voisinage de son embouchure où l'on note depuis lors **Entre 1987 et 1999 : premier épisode de migration**

D'après les travaux d'Agbani (2000), les migrations de la "Bouche du Roi" après le barrage de Nangbéto sont devenues particulièrement spectaculaires à partir de 1995. L'image Landsat du 10 octobre 1991 situe l'emplacement de l'embouchure face à l'île de Kouéta. Par ailleurs, la campagne d'observations menée par Oyédé et Kaki (1998) montre qu'en mars 1996, la "Bouche du Roi" était située à l'ouest immédiat du village de Hokouè. On comprend donc qu'entre juillet 1987 et mars 1996, l'aire d'emprise de la mobilité de la "Bouche du Roi" a été toujours comprise entre l'île de Kouéta et le village de Hokouè, c'est-à-dire l'aire d'emprise originelle (avant le barrage).

Avec l'image Landsat de la figure 12, on remarque que cette embouchure connu une migration très rapide qui fait noter une profonde modification par rapport aux images Landsat des années avant le barrage (Fig. 11). En effet, au cours de cette migration, pendant que la plage amont de l'embouchure s'allongeait vers l'Est sous forme d'une flèche sableuse, les eaux du Mono taillaient par érosion, un second couloir d'écoulement au sein de la plage aval, déchaussant ainsi des cocotiers et menaçant les hameaux des villages de Hokouè, de Docloboé et de Djondji. En 1999, l'embouchure dans sa migration atteint les premiers hameaux du village de Djondji situé à 3 km à l'Est de Hokouè (Fig.13). Devant l'imminence de la destruction du village de Djondji, une ouverture a été opérée artificiellement le 25 juillet 1999, au sein de la plage amont près du village d'Avlo (BRM_99, Fig.), afin d'évacuer les eaux du fleuve Mono en mer. En moins de deux semaines après

cette ouverture mécanique, la "Bouche du Roi migrée" près de Djondji s'est refermée par le transport sédimentaire littoral. C'est ce que montre cette image Landsat de la figure 13 au niveau de laquelle on note l'empreinte de l'embouchure refermée à Djondji et celle ouverte mécaniquement à Avlo.
une migration permanente dans le sens ouest-est.

Figure 12 : Carte montrant l'emplacement de la "Bouche du Roi" en novembre 1998 et la morphodynamique des plages adjacentes

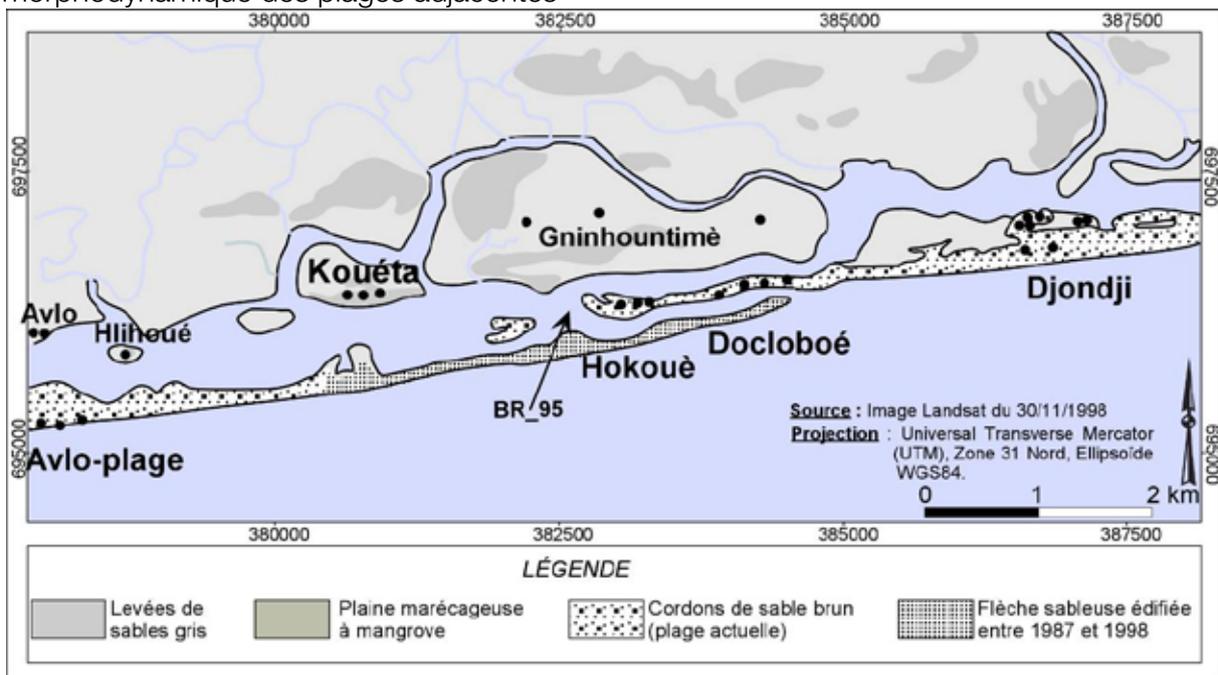
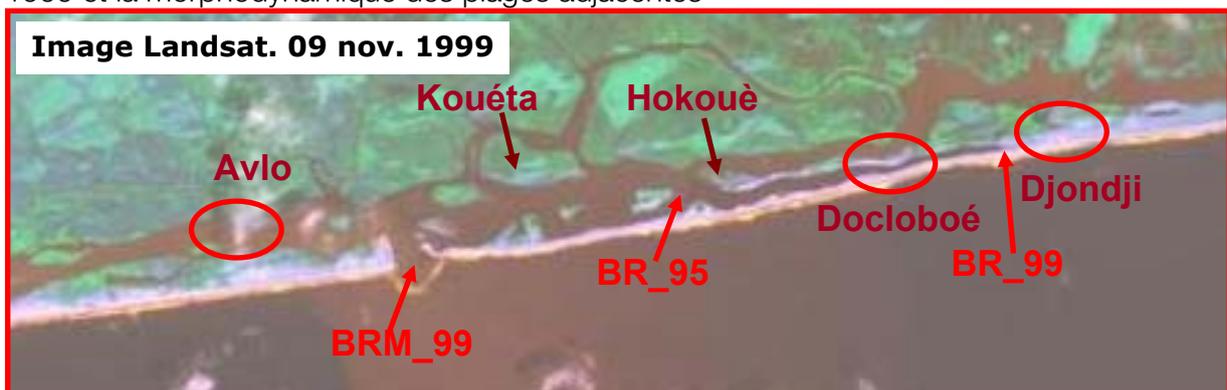


Figure 13 : Image Landsat montrant l'emplacement de la "Bouche du Roi" en novembre 1999 et la morphodynamique des plages adjacentes



BR_99 : emplacement de la "Bouche du Roi" en 1999.
BRM_99 : Brèche artificielle pratiquée à Avlo en 1999

Ainsi donc, sur une période de quatre ans maximum (entre mars 1996 et juillet 1999), la "Bouche du Roi" a migrée sur 3 km vers l'Est, ce qui fait une vitesse moyenne de migration voisine de 750 m/an.

- **Entre 1999 et 2009 : deuxième épisode de migration**

Depuis juillet 1999, le même scénario de migration d'embouchure vers l'Est reprend de nouveau et sur l'image satellitaire d'octobre 2002 de la figure 14, on observe le début de croissance d'une nouvelle langue sableuse à l'Ouest (FL_99-09) et l'attaque érosive de la flèche édifiée entre 1987 et 1999 (FL_87-99).

D'octobre 2002 à janvier 2009, la migration de l'embouchure a vertigineusement continué vers l'Est avec élongation continue de la flèche sableuse FL_99-09 (Fig. 15) et destruction quasi complète de la flèche FL_87-99 (Fig. 15).

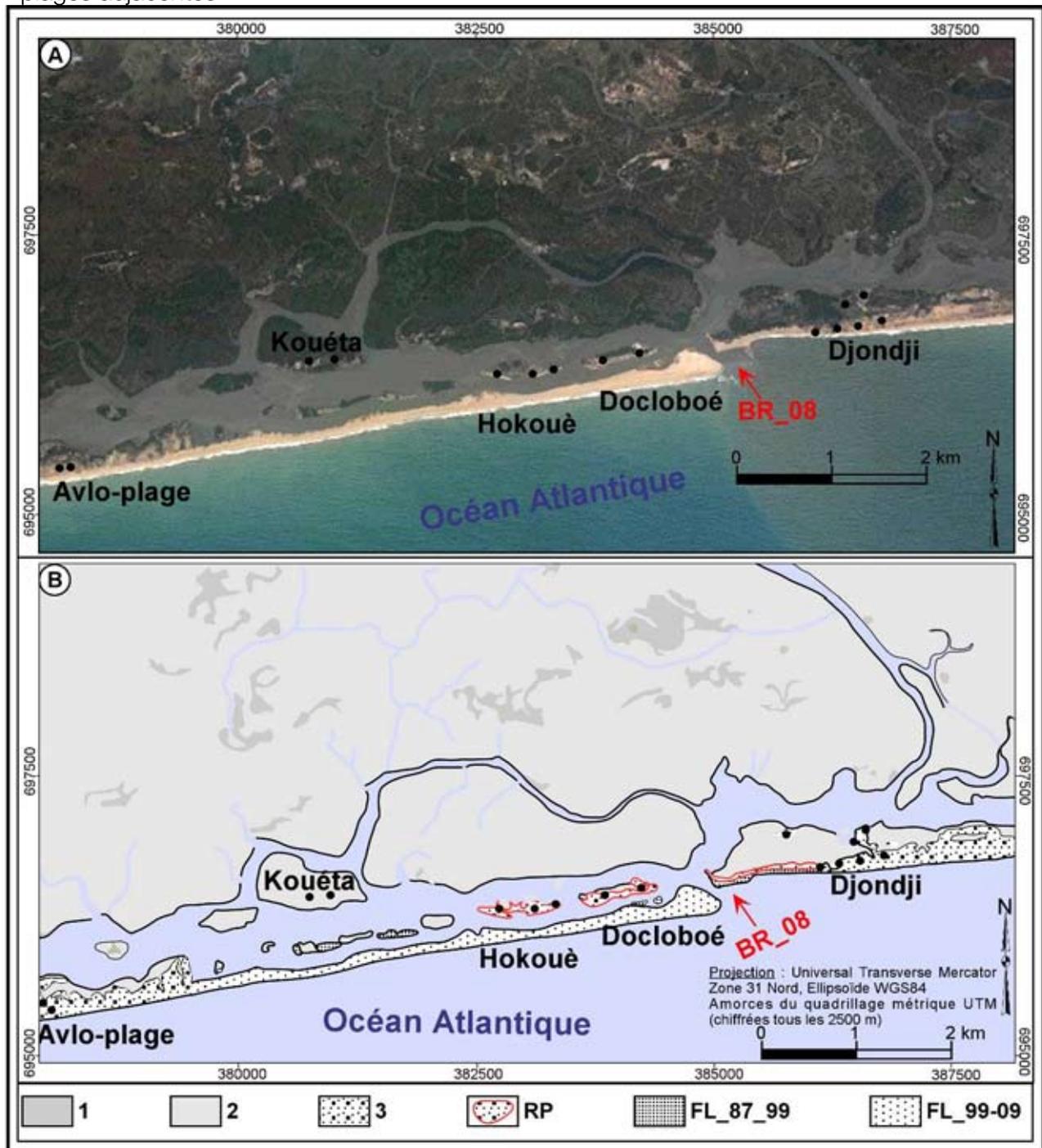
En 2007, la "Bouche du Roi" dans sa migration atteint le village de Docloboé et les suivis de terrain effectués en juin-septembre de cette année ont permis d'appréhender les nuisances d'érosions et d'inondations subies par les populations. Une bonne partie des habitants étaient obligés d'abandonner le village du fait de l'engloutissement de leurs hameaux (Photo. 5).

Vers avril 2009, la "Bouche du Roi" se rapproche à nouveau du village de Djondji, comme en 1999. Les dégâts reprennent alors en face de ce village. La photo 6 montre l'ampleur des dégâts en face de l'école de Djondji en août 2009. Face à cette situation, les populations vont réussir à ouvrir à nouveau, une autre embouchure à Avlo, le 27 août 2009 (Photo 7). Progressivement, l'embouchure migrée à Djondji se referme en novembre 2009. L'image satellitaire de 24 décembre 2009 montre l'empreinte de l'embouchure refermée à Djondji et la brèche artificielle ouverte à Avlo (Fig.16).

Pour ce second épisode, l'embouchure a migré d'Avlo à Djondi sur une distance de 7 Km en 10 ans (entre juillet 1999 et août 2009). Ce qui équivaut à une vitesse moyenne de 700 m/an.

Après la mise en service du barrage, l'ouverture de la "Bouche du Roi" est devenue permanente : On parle de persistance. Cette persistance est associée à un phénomène de migration perpétuelle, à une vitesse moyenne de 700 m/an : c'est l'instabilité de position. De juillet 1987 à nos jours, la "Bouche du Roi" a connu deux épisodes de migration : le premier épisode devenue notoire dès 1995, a été interrompu en juillet 1999 suite à l'ouverture d'une embouchure artificielle à l'amont (à Avlo). Le second épisode commencé depuis lors s'est aussi arrêté en novembre 2009 grâce à une autre ouverture artificielle pratiquée à nouveau à Avlo.

Figure 15 : Emplacement de la "Bouche du Roi" en janvier 2009 et morphodynamique des plages adjacentes



A - Image du 10 janvier 2009 prise par le satellite QUICKBIRD ;

B - Interprétation

BR_08 : Position atteinte par la "Bouche du Roi" en janvier 2009 lors du second épisode de migration 1- (voir Fig. 14) ; 2- (voir Fig. 14) ; 3- (voir Fig. 14) ; FL_87-99 (voir Fig.14) ; FL_99-09 (voir Fig. 14) ; RP (voir Fig. 14).

Comparées RP sur Figs. 14 et 15. Comparer aussi FL_87-99 sur les mêmes figures de même que FL_99-09

Photo 5 : Photographie (prise regard face à l'Ouest) montrant la position de la "Bouche du Roi" en août 2007 et les méfaits de l'érosion



Cliché LAIBI Raoul, 26/08/2007

Légende : (1)- Position de la "Bouche du Roi" en août 2007 ; (2)- Flèche sableuse FL_87-99 livrée à l'érosion fluvio-marine ; (3)- Bras lagunaire envahie par les eaux fluviales par suite de l'ennoisement de la flèche sableuse de 1999 ; (4)- Falaise de reliques de plages ravivées par les eaux fluviales qui ont ennoyées la flèche sableuse de 1999 ; (5)-Ruines des hameaux du village de Docloboé

Photo 6 : Clichés photographiques montrant les ravages de l'érosion en face de l'école primaire publique de Djondji.



Clichés LAIBI Raoul.

L'école a fini par être abandonnée. Le cliché I est pris le 06/06/09 alors que la route côtière était encore bien praticable devant l'école de Djondji (flèche blanche). Le cliché F est pris le 18/08/08. Les changements intervenus entre les dates de prise de ces deux clichés sont très remarquables : disparition de la route côtière, engloutissement d'innombrables cocotiers, ...)

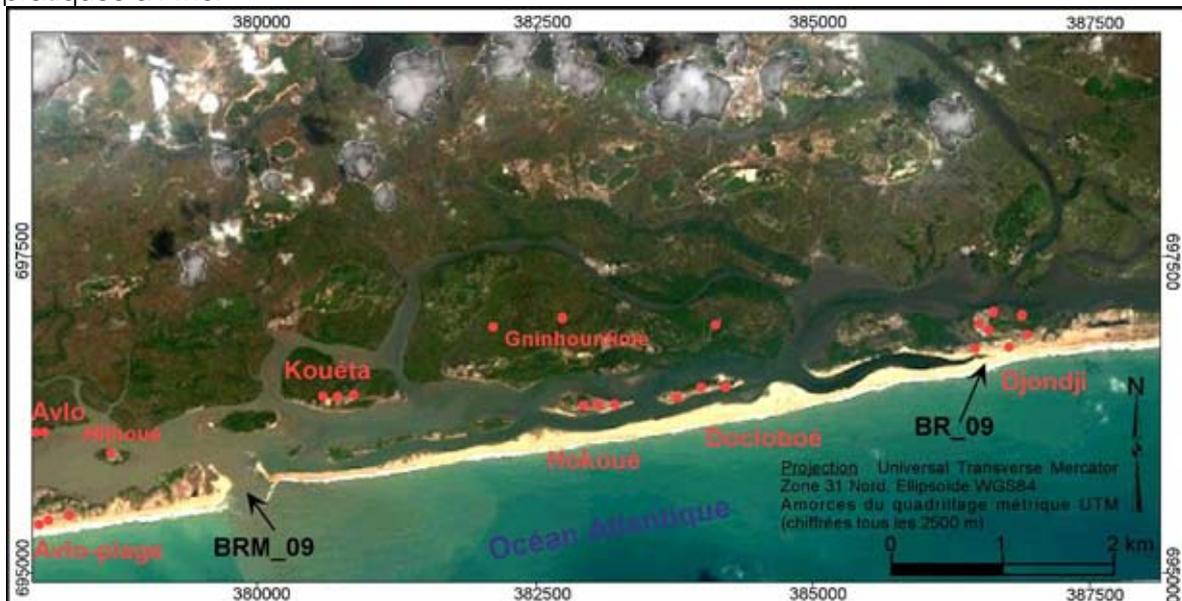
Photo 7 : Photos montrant les opérations d'ouverture d'embouchure artificielle à Avlo



Clichés LAIBI Raoul, 27/08/09

Légende : F- Photo de fond montrant la tranchée initiale séparée de la mer et de la lagune par deux fronts de taille ; I- Décapage du front de taille côté mer par la pelle mécanique (1- mer ; 2- tranchée) ; II- Décapage du front de taille côté lagune par la pelle mécanique (2- tranchée ; 3- lagune) ; III- Communication entre la mer et la tranchée après I) ; IV- Communication entre la lagune et la tranchée après II

Figure 16 : Image QuickBird de décembre 2009 montrant l’empreinte de la "Bouche du Roi" migrée à Djondji (BR_09) et l’emplacement de la brèche mécanique (BRM_09) pratiquée à Avlo.



b. Réponse du rivage

Dans le secteur d'étude, la portion de côte considérée pour l'analyse du comportement du rivage s'étend sur une dizaine de kilomètres. Elle correspond à la bande côtière soumise à l'influence de la "Bouche du Roi" après la mise en service du barrage. Elle est maintenue entre les villages Avlo et Djondji grâce aux populations riveraines qui opèrent une brèche artificielle sur la plage d'Avlo, à chaque fois que la "Bouche du Roi" dans sa migration, devient menaçante pour le village de Djondji.

L'analyse a été effectuée à partir des lignes de rivages multi dates extraites des images satellitaires Landsat, Ikonos et QuickBird. La période considérée va de 1984 à 2008. Dans cette analyse, chaque ligne de rivage sert de repère pour apprécier les variations de celle qui la succède, avec référence à la période avant le barrage et à chacun des deux épisodes de migration qu'a connu l'embouchure après le barrage. Précisons aussi que pour une image satellitaire considérée, la date du rivage retenue correspond à la fin d'année la plus proche de la date de prise de l'image (tableau 2).

Par ailleurs, les différentes positions prises par la "Bouche du Roi" ont été désignées par référence aux dates des traits de côte.

Tableau 2 : Dates des lignes de rivages extraites des images satellitaires et positions de la "Bouche du Roi".

Nature d'image et date d'acquisition	Date des traits de côte	Position de la "Bouche du Roi" correspondante
Image Landsat du 03 août 1984	1984	BR_84
Image Landsat du 12 février 1988	1987	BR_87
Image Ikonos du 17 octobre 2002	2002	BR_02
Image QuickBird du 25 novembre 2006	2006	BR_06
Image QuikBird du 10 janvier 2009	2008	BR_08

COMPORTEMENT DU RIVAGE AVANT LA MISE EN SERVICE DU BARRAGE

La ligne de rivage de 1984 et celle de 1987 ont été utilisées pour apprécier le comportement du trait de côte avant la mise en service du barrage de Nangbéto.

L'analyse de la ligne de rivage de 1987 par rapport à celle de 1984 montre ce qui suit (Fig. 17) :

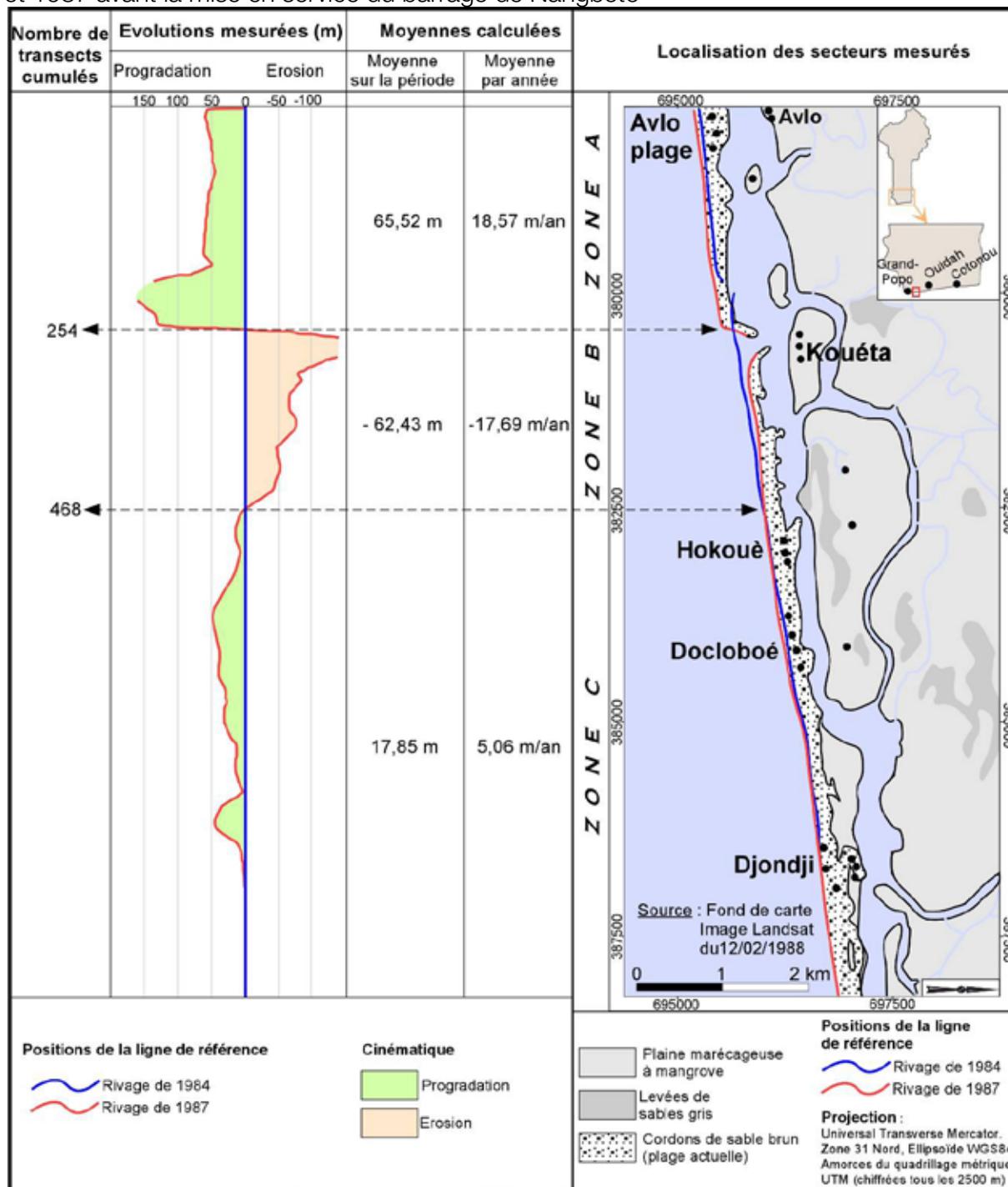
Entre Avlo et BR_87, on note un engraissement moyen de 66 m, maximal au droit de l'emplacement de BR_84 (Fig. 17).

A l'aval de BR_87, le segment de côte en face de l'île de Kouéta montre une érosion d'abord très intense à proximité de l'embouchure (plus d'une centaine de mètres) puis diminuant progressivement pour disparaître à proximité ouest du village de Hokouè.

La portion de côte entre Hokouè et Djondji correspond globalement à une zone d'engraissement.

En résumé, les évolutions observées laissent distinguer trois zones (Fig. 17) : une zone A en engraissement à l'amont dérive de l'embouchure, une zone B en érosion à l'aval dérive immédiat de l'embouchure et au-delà, une zone C en engraissement. Il faut préciser que la zone B caractérisée par une dynamique érosive correspond à la zone d'emprise du jeu d'ouverture et de fermeture de la "Bouche du Roi".

Figure 17 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 1984 et 1987 avant la mise en service du barrage de Nangbéto



REPONSES DU RIVAGE FACE A LA MIGRATION DE LA "BOUCHE DU ROI" (APRES LE BARRAGE DE NANGBETO)

Evolutions du rivage au cours du premier épisode de migration (Fig. 18)

Par rapport au rivage de 1987, le rivage de 1998 montre :

- un segment A où l'on note un léger recul entre Avlo et BR_87 (en face de Kouéta) suivi d'un important avancé entre BR_87 et BR_98 (à Docloboé) ;
- un segment B caractérisé par un remarquable recul qui avoisine les 150 m au droit de Docloboé et qui diminue peu à peu pour s'annuler vers Djondji ;
- un segment C marqué par une légère érosion suivie d'un engraissement au voisinage de Djondji.

Evolutions du rivage au cours du second épisode de migration (Figs. 19 et 20)

Lors du second épisode de migration, les évolutions suivantes sont notées entre 2002 et 2006 (Fig. 19) :

- une avancée de rivage, le long du segment de plage compris entre Avlo et BR_06 (segment A), mais particulièrement notable au droit de BR_02.
- un recul notable au droit de Docloboé, à l'aval immédiat de BR_06 (segment B) ;
- un engraissement le long du segment de côte C, au-delà (à l'est) du segment B.

Entre 2006 et 2008, les évolutions notées permettent de distinguer trois segments de côte (Fig. 20) :

- un segment de côte à l'amont dérive de BR_08 (segment A) constitué d'une portion de côte en érosion (entre Avlo et l'île de Kouéta) suivie d'une zone stable (entre BR_02 BR_06) et d'une zone de fort engraissement (entre BR_06 et BR_08) ;
- un segment B soumis à une forte érosion à l'aval immédiat de BR_08 ;
- un segment C en équilibre dynamique, au-delà du segment B.

De façon générale, l'analyse des configurations du rivage avant et après la mise en service du barrage de Nangbéto permet de distinguer trois zones au sein des plages adjacentes à la "Bouche du Roi" : une zone d'érosion/engraissement (zone A) à l'amont dérive de l'embouchure, suivie d'une zone d'érosion (zone B) à l'aval dérive immédiat de l'embouchure puis d'une zone en équilibre dynamique (zone C) au-delà.

Avant la mise en service du barrage, la relative stabilité de position qui caractérise la "Bouche du Roi" condamnait la zone B à se maintenir aux voisinages de l'île de Kouéta.

Après la construction du barrage, les évolutions notées d'une part entre les rivages de 1987 et 1998 (Fig. 18) et d'autre part entre les rivages de 2002, 2006 et 2008 (Figs. 19 et 20) montrent que la zone B se déplace désormais au rythme de la migration de l'embouchure.

L'analyse par régression linéaire des évolutions notées entre les traits de côte de 1984, 1987, 1998, 2002, 2006 et 2008 (Fig. 21) permet de se rendre compte qu'entre 1984 et 2008, le rivage a globalement pro gradé : en se construisant et en se détruisant, les flèches sableuses montrent une tendance globale à l'avancé du rivage. Mais cette avancée n'est pas bénéfique aux populations. Au cours de l'édification d'une nouvelle flèche, la mer érode littéralement l'ancienne flèche de même que les plages préexistantes. Cette forme de pro gradation cache donc une érosion spectaculaire, de proche en proche, dans le sens de la dérive littorale. La morpho dynamique du secteur d'étude est donc lourde de conséquences environnementales et socio-économiques, bien que ces dernières ne soient pas reflétées par cette forme d'analyse.

Figure 18 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 1987 et 1998 lors du premier épisode de migration de la "Bouche du Roi"

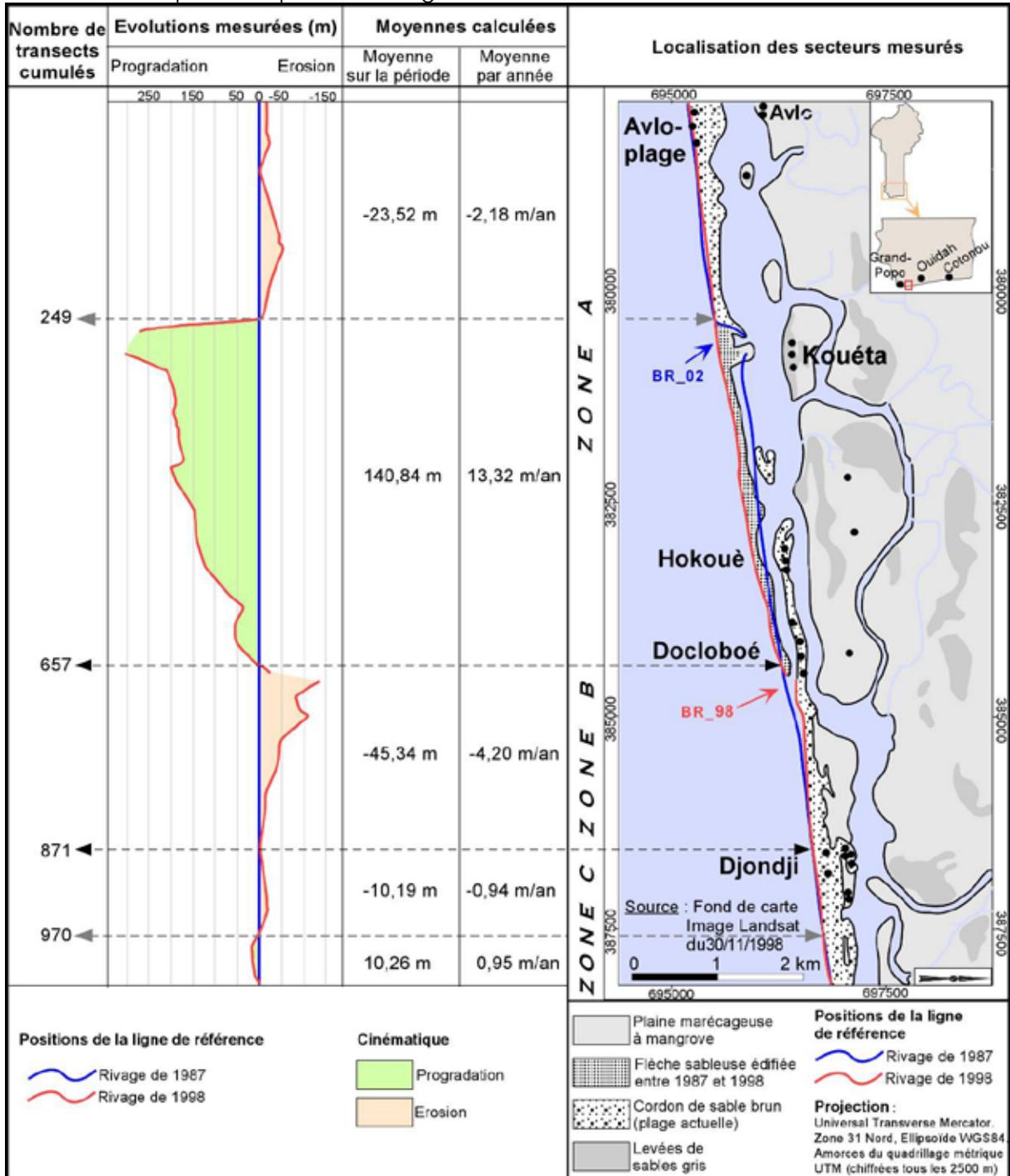


Figure 19 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 2002 et 2006 lors du second épisode de migration de la "Bouche du Roi"

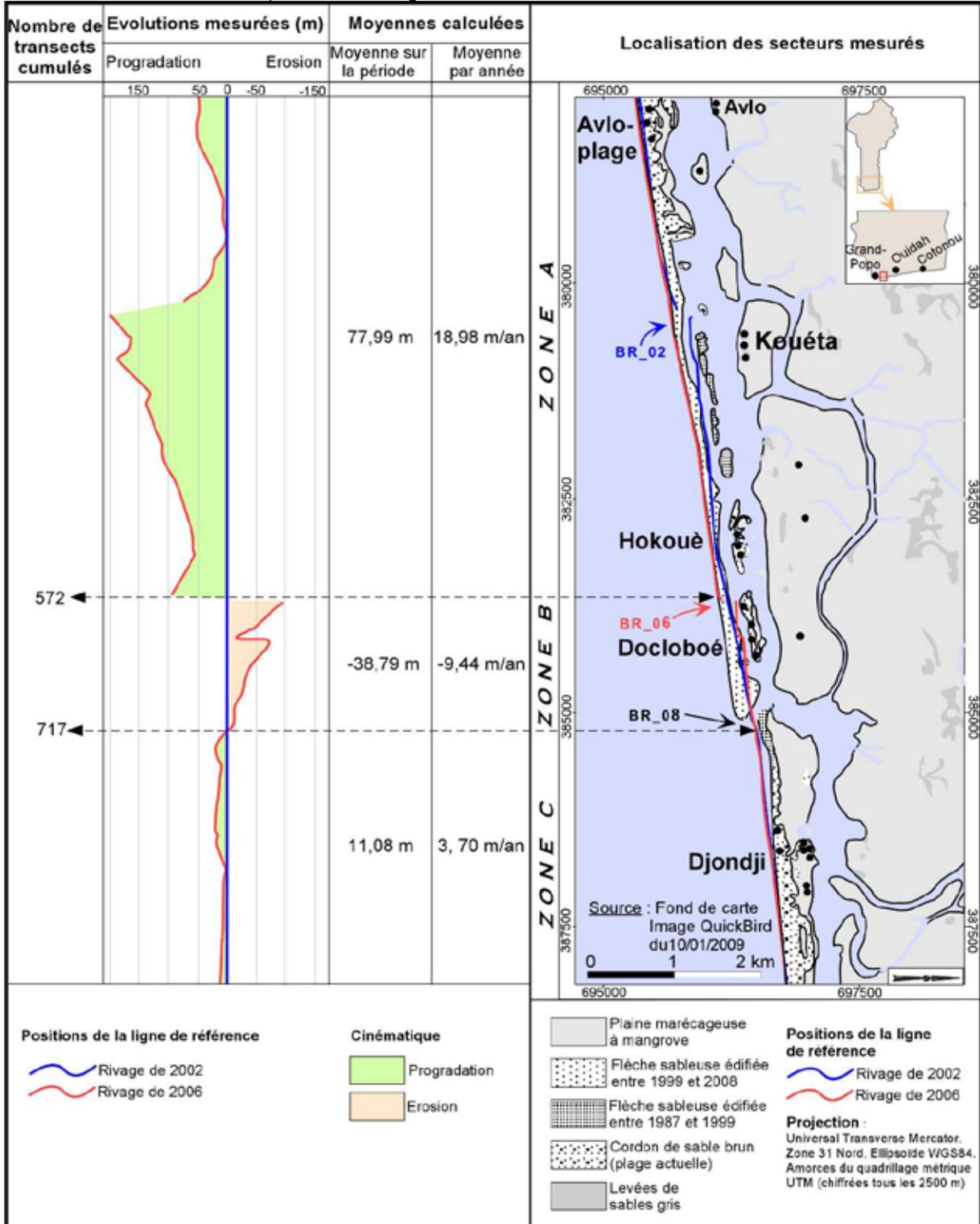
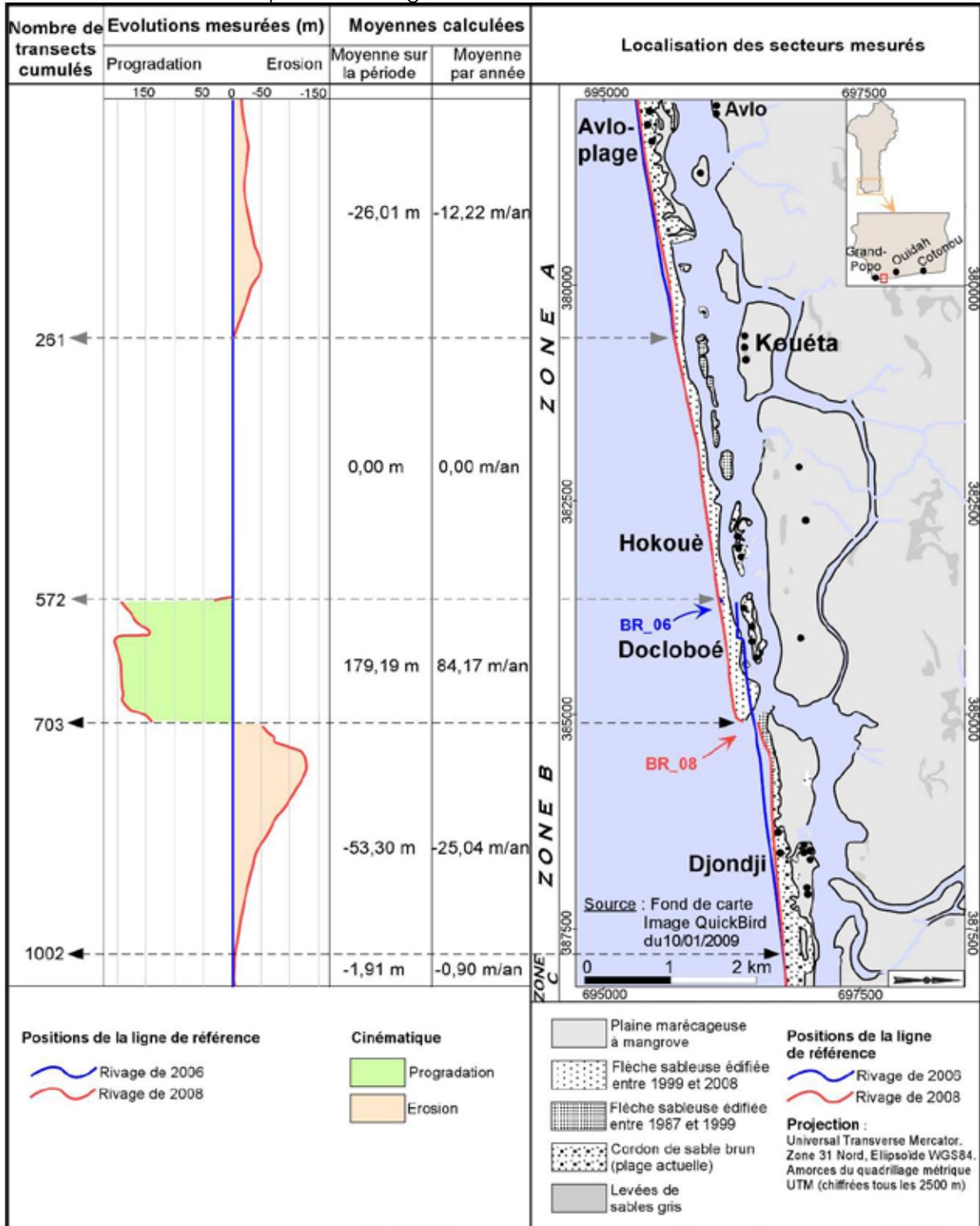
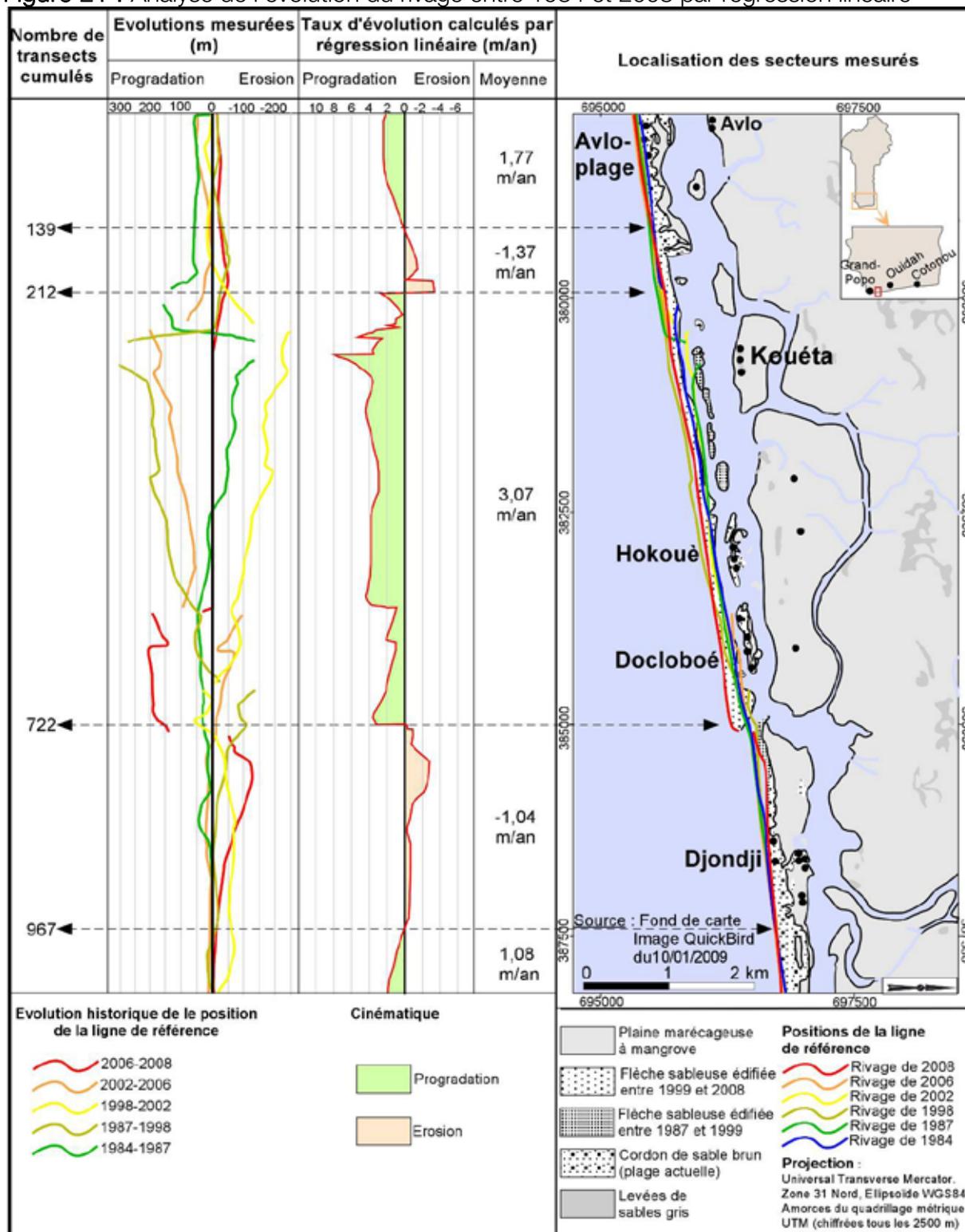


Figure 20 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 2006 et 2008 lors du second épisode de migration de la "Bouche du Roi"



Comparer les évolutions entre 2002 et 2006 (Fig. 19), d'une part et entre 2006 et 2008 (Fig. 20) d'autre part et remarquer que, comme la zone A, la zone B migre aussi vers l'Est

Figure 21 : Analyse de l'évolution du rivage entre 1984 et 2008 par régression linéaire



2. Conséquences des évolutions observées avant et après la mise en service du barrage

a. Avant la mise en service du barrage

A l'état naturel, l'embouchure du système estuarien du Mono-Couffo se caractérise par des cycles d'ouverture et de fermeture, dans une position située sur la côte, globalement en face de l'île de Kouéta (on parlera d'une relative stabilité de position). La configuration de cette embouchure variait au gré du rythme hydrologique fluvial du fleuve Mono : large ouverture en période de hautes eaux du fleuve (juin-novembre), ouverture plus réduite ou fermée en période d'étiage (décembre à mai). Cette configuration impliquait une morpho dynamique (érosion/engraissement) très active restée tout de même limitée aux voisinages immédiats de l'embouchure, entre Kouéta et Hokouè. Ce schéma de fonctionnement n'induisait donc pas de dommages particulièrement notoires : seules les plages au voisinage immédiat de l'embouchure se détruisent et se reconstruisent, les établissements humains n'étant pas affectés. Toutefois, en période de crue du fleuve Mono (en septembre-octobre), le secteur d'étude connaît des inondations qui sont parfois catastrophiques.

b. Après la mise en service du barrage

Depuis la mise en service du barrage, l'ouverture de la "Bouche du Roi" est devenue permanente (persistance) et associée à un phénomène de mobilité avec une vitesse moyenne de 700 m/an (c'est l'instabilité de position). L'observation des images satellitaires montre que ce phénomène de migration s'effectue de proche en proche le long du littoral, dans le sens ouest-est. Cette migration est associée à l'accrétion d'une flèche sableuse à l'amont dérive de l'embouchure (zone A) et d'un couloir d'érosion à l'aval dérive immédiat (Zone B). Comme la zone d'équilibre dynamique (zone A correspondant à la flèche sableuse), la zone d'érosion (zone B) se déplace elle aussi dans le sens est-ouest au rythme de la migration de l'embouchure. La "Bouche du Roi" se comporte alors comme une onde de perturbation dont le passage (la migration) par un secteur de la côte occasionne un intense effet d'érosion de celui-ci. L'équilibre du rivage se rétablit à l'amont dès que la perturbation s'éloigne.

Ce style de migration à une vitesse de 700 m/an entraîne la destruction progressive et rapide des plages, affectant ainsi négativement la faune et la flore inféodées et ruinant les infrastructures socio-économiques installées le long de la côte.

Conséquences sur l'environnement

Sous l'effet de l'érosion et de la vigueur des courants du Mono dans la lagune côtière, les dégâts causés à l'environnement lors de ces deux épisodes de migration sont énormes : engloutissement de plages et destruction d'innombrables cocotiers, dulcification des plans d'eau lagunaires et submersion complète des zones humides.

Par ailleurs, il faut préciser que l'équilibre qui se restitue à l'amont dérive après le passage de l'embouchure ne se limite en réalité qu'au niveau du trait de côte. En effet, avec l'agressivité des courants du Mono dans la lagune côtière, les plages préexistantes sont littéralement érodées par suite du dédoublement du chenal lagunaire. Avec ce fonctionnement, à long terme si rien n'est fait, on assistera à l'élargissement du chenal lagunaire par suite de l'ennoiement complet des zones humides bordières de l'estuaire et

de l'érosion des hauts-fonds et levées de bancs sableux périphériques. Les dommages à l'environnement ne feront donc que s'accroître.

Conséquences socio-économiques

La sévérité des phénomènes d'érosion associés à la mobilité de l'embouchure a occasionné d'énormes dégâts à la population riveraine : destruction d'habitations et autres infrastructures sociocommunitaires (écoles, routes,...), pertes des terres et des cultures (salicultures, cultures agraires, aquacultures, ...), déplacements de population, exhumation des dépouilles de parents défunts. Par ailleurs, ces phénomènes d'érosion détruisent de façon progressive et à une vitesse de 700 m/an, le segment de plages d'Avlo-Djondji, d'une très haute renommée touristique.

En réalité, cette migration est beaucoup plus préoccupante, au regard de sa vitesse et du couloir d'intense érosion (zone B) qui lui est associé. En effet, les débits d'étiages du fleuve Mono étant renforcés par le barrage, l'embouchure ne peut plus se fermer. Les crues étant aussi laminées par le même ouvrage, des possibilités de ruptures brutales en d'autres points fragiles deviennent faibles. La migration sera donc permanente, les caractéristiques de la houle étant assez stable au niveau du golfe de Guinée. Avec ce rythme, si la progression n'est pas stoppée par la population par ouverture artificielle d'embouchure en amont, la "Bouche du Roi" franchira rapidement le village de Djondji (limite de la Commune de Grand-Popo) et se retrouvera dans la Commune de Ouidah (Fig. 2). Dès lors toutes les infrastructures historiques, touristiques et hôtelières (Routes des Esclaves, Porte du Non-Retour, Porte du Retour, plages balnéaires, hôtels de haut standing dont Casa Del Papa, Djègba, et autres) concentrées sur la côte de cette Commune seront littéralement détruites. Par ailleurs, c'est sur les côtes de cette Commune et celle d'Abomey-Calavi que s'envisage depuis peu, le projet "Route des Pêches" qui réalisera beaucoup d'autres infrastructures plus modernes toujours pour des fins touristiques.

3. Synthèse des évolutions observées et de leurs conséquences

Avant et après la construction du barrage de Nangbéto, les évolutions observées le long du secteur côtier adjacent à la "Bouche du Roi" et les conséquences engendrées sont répertoriées dans le tableau ci-après.

Au regard de ces conséquences, il est indéniable qu'une meilleure solution d'aménagement doit être trouvée pour ce secteur afin d'éviter des catastrophes qui seront sans précédent pour le littoral béninois.

Tableau 3 : Synthèse des évolutions et conséquences observées au sein des plages adjacentes à la "Bouche du Roi" avant et après le barrage de Nangbéto

Dynamique de l'embouchure	Etat et étendue des plages de la zone d'emprise de la zone dynamique de l'embouchure	Conséquences de l'état des plages de la zone d'emprise de l'embouchure	Etat et étendue des plages au-delà de la zone d'emprise	Conséquences de l'état des plages au-delà de la zone d'emprise
<p>Avant le barrage</p> <p>- Relative stabilité de position et instabilité de géométrie de la "Bouche du Roi" ;</p> <p>- Ouverture et fermeture temporaires de l'embouchure</p>	<p>Etat et étendue des plages de la zone d'emprise de la zone dynamique de l'embouchure</p> <p>Dynamique morpho-sédimentaire très active (érosion/dépôt), mais limitée à la zone comprise entre Kouéta et Hokoué.</p>	<p>Erosion n'entraînant pas de graves dommages aux établissements humains, car seules les plages à l'embouchure se détruisent et se reconstruisent.</p> <p>Toutefois, inondations parfois catastrophiques pour les populations en périodes de crue du Mono.</p>	<p>Équilibre dynamique des segments de côte allant de Hokoué à Grand-Popo d'une part et de Hokoué à Djèbadji (Ouidah) d'autre part.</p>	<p>Conséquences de l'état des plages au-delà de la zone d'emprise</p> <p>Infrastructures socio-économiques non menacées dans les deux segments de côte situés au-delà de la zone d'emprise de l'embouchure ;</p> <p>Toutefois :</p> <ul style="list-style-type: none"> - érosions sporadiques purement liées à des tempêtes exceptionnelles ; - inondations parfois catastrophiques aux populations en périodes de crue du Mono
<p>Après le barrage</p> <p>- Instabilités de position (migration à une vitesse moyenne de 700m/an) ;</p> <p>- Ouverture permanente de l'embouchure avec instabilité de géométrie.</p>	<p>Dynamique morpho-sédimentaire marquée par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - une permanente édification de flèche sableuse à l'amont de l'embouchure, à un rythme de 700 m/an, entraînant une pro gradation du rivage, à une vitesse moyenne de 3 m/an (Zone A) ; - une érosion de proche en proche des côtes à l'aval, à une vitesse moyenne de 10 m/an et se propageant vers l'Est, à un rythme de 700 m/an (Zone B). <p>Zone d'emprise extensible vers l'est, mais actuellement maintenue entre Avlo et Djondji grâce aux populations en état de veille.</p>	<p>- Engoutissement de cocotiers en mer, dulcification des plans d'eau lagunaires et submersion complète des zones humides affectant négativement les écosystèmes infodés (site Ramsar n° 1018) ;</p> <p>- Destruction d'habitations et autres infrastructures sociocommunautaires (écoles, routes, ...)</p> <p>- Dévastation des terres et des cultures (salicures, cultures agraires, aquacultures, ...)</p> <p>- Déplacements de populations, exhumation des dépouilles de parents défunts ;</p> <p>- Pertes des plages à très haute renommée touristique entre Avlo et Djondji.</p>	<p>Équilibre dynamique des segments de côte allant de Hokoué à Grand-Popo d'une part et de Hokoué à Djèbadji (Ouidah) d'autre part.</p>	<p>Segment de côte entre Avlo et Grand-Popo non menacé ;</p> <p>Segment de côte entre Djondji et Djèbadji fortement menacé et à haut risque du fait des innombrables infrastructures touristiques et hôtelières qui y sont installées (Routes des Esclaves, Porte du Non-Retour, Porte du Retour, plages balnéaires, hôtels de haut standing dont Casa Del Papa, Djègba et autres; Projet "Route des Pêches").</p> <p>Risque actuellement latent, les ouvertures répétées de brèches à Avlo limitant la progression de l'embouchure.</p>

V. PERSPECTIVES – PROJET D'ETUDE

Comme il a été montré dans ce rapport, les deux secteurs de la côte béninoise souffrent d'importants phénomènes d'érosion qui méritent d'être suivis en raison de la forte densité de population et de l'importance des activités socio-économiques qui caractérisent ces deux secteurs de côte.

- 1) Les évolutions notées au sein du secteur côtier de l'estuaire de l'Ouémé-Sô sont indéniablement liées à la construction du Port Autonome de Cotonou qui fonctionne depuis 1962 comme une barrière latérale dans un contexte côtier caractérisé par une forte dérive littorale. D'intenses phénomènes d'érosions sont alors occasionnés à l'aval dérive du port créant ainsi une crique (zone source) qui recule à une vitesse de 10m/an, la presque totalité de sédiment étant accumulé à l'amont (zone puits). Les ouvrages de protection expérimentés dans cette zone source ont été sans succès et d'autres solutions sont envisagées par le gouvernement. Dans le cadre de ce programme régional qu'initient l'UEMOA et l'UICN, ce segment de côte (crique) en proie à d'aussi intenses phénomènes d'érosion mérite un suivi régulier permettant de relever et de publier les évolutions observées pour attirer d'avantage l'attention du peuple et du Gouvernement. Même si le projet de protection de la côte à l'Est du port (Est de l'épi de Sifato, Fig. 9) jugé imminent venait à voir le jour, cela ne fera que reporter le phénomène d'érosion à 7 km plus à l'Est, dans une zone déjà fortement urbanisée. Une surveillance stricte s'avèrera également nécessaire...
- 2) A l'état naturel, l'embouchure du système estuarien du Mono-Couffo est caractérisée par une relative stabilité de position en face de l'île de Hokouè. Depuis la mise en service du barrage de Nangbéto, la "Bouche du Roi" évolue dans un contexte d'instabilité de position lourd de conséquences environnementales et socio-économiques pour les plages adjacentes à cette embouchure.

A la mise en service du barrage, la persistance de l'embouchure de l'estuaire du Mono-Couffo paraissait évidente à la lecture du nouveau régime hydrologique du fleuve Mono. Le changement le plus surprenant est plutôt la vitesse de migration de la "Bouche du Roi" après la mise en service du barrage de Nangbéto. Par ailleurs, l'édification permanente d'une flèche sableuse qui accompagne cette mobilité est le témoin d'une bonne disponibilité de sédiments sans doute fournis par la dérive littorale. Le blocage du budget sédimentaire fluvial par le barrage ne semble donc pas être la cause de ce style de réponse. Il y a lieu de rechercher la cause de ce mode de fonctionnement soit dans la modification du régime hydrologique fluvial du Mono par le barrage, soit dans le mode d'action des paramètres météo-marins. On comprend donc que la recherche d'une solution d'aménagement judicieuse de ce secteur passe nécessairement par une étude d'avant-projet permettant de bien cerner les causes de ce nouveau fonctionnement. Pour y arriver, la méthodologie ici doit aller au-delà du suivi et permettre d'analyser les phénomènes hydrodynamiques (marins côtiers et fluviaux) au voisinage de la "Bouche du Roi" et d'appréhender leurs effets sur le transport sédimentaire et l'évolution du trait de côte.

Au total, on retient que, dans le cadre de ce programme régional en cours d'initiation, le suivi de l'ensemble des deux secteurs de la côte béninoise est indispensable et que l'étude des causes des évolutions observées dans le secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo est primordiale pour réussir un projet d'aménagement. L'approche reste donc résolument instrumentale :

- Les suivis géomorphologiques et topographiques de terrain nécessitent l'acquisition de GPS différentiel (DGPS), de tachéomètre et d'appareil photographique. A ces matériels s'ajoutent les images satellitaires de bonne résolution, du matériel informatique et des logiciels de traitement d'images.
- Les mesures de courants et d'élévation de niveau d'eau au voisinage de la « Bouche du Roi » nécessitent de disposer d'échelles limnimétriques et d'un courantomètre. Pour obtenir les données directionnelles de courants, c'est l'ADCP qui est particulièrement intéressant en raison de sa robustesse et de la fiabilité de ses mesures.

Equipements	Coût (euros)	Coût (FCFA)
DGPS	40 000	26 200 000
Tachéomètre	7 000	4 585 000
Images satellitaires	PM	PM
Logiciels de traitement d'images (ENVI, ArcGIS)	PM	PM
Déplacements	PM	PM
Matériels informatiques (ordinateurs, imprimante, scanner)	2 000	1 310 000
ADCP	30 000	19 650 000
4 Echelles limnimétriques	940	615 700
Appareil photographique	700	458 500
COÛT TOTAL	79 700	52 819 200

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABE (2002).- Schéma Directeur d'Aménagement de la Zone Littorale du Bénin. Rapport. 137p.
- Agbani K. Marielle A. (2000).- Dynamique fluivio-lacustre et impacts environnementaux dans le Sud-Ouest du Bénin (Afrique de l'Ouest). DEA en Gestion de l'Environnement. EDP/UAC (République du Bénin). 61p.
- Ago E. E. (2005).- Analyse des risques d'inondation du barrage hydroélectrique de Nangbéto au Togo et au Bénin. Travail de fin d'étude pour l'obtention du DES-IU, Orientation Climatorisque. Laboratoire de Géographie physique. Univ de Liège – Belgique. 63 p.
- Anthony E. J., Lang J. and Oyédé L. M. (1996).- sedimentation in tropical, microtidal, wave dominated coastal-plain estuary. *Sedimentology*. 43, 665-675.
- Amoussou E. (2010) Variabilité pluviométrique et dynamique hydrosédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest) Th'se de doctorat de l'Université de Bourgogne. 313 p.
- Blivi A.B. & Adjoussi P. (2004).- La cinématique du trait de côte au Togo vue par télédétection. *Geo-Eco-Trop*, 28, 1-2. Résumé.
- Blivi A. (1993).- Géomorphologie et dynamique actuelle du golfe du Bénin. Thèse doct., Univ. Bordeaux 3, 458 p.
- CEDA (1998).- Profil de la zone côtière. MEHU/ONUDI/PNUD-FEM, 93 p
- CEDA (2007).- Rapport National sur l'Environnement Marin et Côtier du Bénin. Rapport. 68p.
- Crosnier et Berrit, 1963.- Fonds de pêche le long des côtes des Républiques du Dahomey et du Togo. ORSTOM.
- Dégbé C. G. E. (2009).- Géomorphologie et érosion côtière dans le golfe de Guinée. Master of Science en Océanographie physique. CIPMA- Chaire UNESCO. FAST/UAC (République du Bénin). 93p.
- Faye Ibrahima B. ND. (2010).- Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Thèse de Géographie de l'Université de Bretagne Occidentale. 296p + Annexes.
- Guilcher A. (1959).- La région côtière du Bas-Dahomey occidental. *Bull. IFAN*, t. XXI, n° 3 et 4, 357-424.
- Kaki C., Oyede L. M., Yessoufou S. (2001). – Dynamique sédimentaire et environnement côtier du littoral béninois à l'Est de l'embouchure du fleuve Mono. *J. Rech. Sci. Univ. Bénin (Togo)*, 2001, 5(2), 247-261.
- Lang J., Paradis G., Oyédé L. M. (1988).- Le domaine margino-littoral du Bénin (Golfe de Guinée – Afrique de l'Ouest) : âge holocène et mise en place marine des "sables jaunes". *Journal of African Earth Sciences*. 7: 823-833.
- Laïbi R. A. (2005).- Facteurs et indices de dégradation du milieu margino-littoral du Bénin : érosion, inondation et intrusion marine. Travail de fin d'étude pour l'obtention du DES-IU, Orientation Géoriques. Université de Liège (Belgique). 49p + Annexes
- Olivier C., Franck D., Edward J. A., Arnaud H. (2002).- L'approche morpho dynamique en géomorphologie littorale. In. *Le Littoral : Regards, Pratiques et Savoirs*. éd. Rue d'ULM. 191-211

- Oyédé L.M., Kaki C. (1998).- Quinze mois d'observations et de relevés de paramètres physico-chimiques sur le littoral et la lagune côtière du Bénin (Mars 1996 - Mai 1997) : Dynamique sédimentaire et environnement. Rapport interne, FAST, Université Nationale du Bénin, 61p.
- Oyédé L. M. (1991).- Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogène du domaine margino-littorale du Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse Doctorat nouveau régime, Université de Bourgogne et Université Nationale du Bénin, 302 p.
- Pliya J. (1976).- La pêche continentale et maritime dans le Sud-ouest de la République Populaire du Bénin. Thèse de Doctorat de 3ème cycle de Géographie Appliquée. Univ. Paris X – Nanterre. 308 p.
- PNUD (1987).- Étude de l'impact du barrage de Nangbéto sur la basse vallée de l'estuaire du Mono. Rapport d'étude de l'Université du Bénin et du Laboratoire Central d'hydraulique de France (Ministère du Plan et de l'Industrie). 81 p., dactylographiées.
- Rossi G., Blivi A.B. (1995).- Les conséquences des aménagements hydrauliques de la vallée du Mono (Togo-Bénin). Saura-t-on gérer l'avenir ? *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 192. p. 435-452
- Rossi G., Baritse L., Blivi A.B. (1991).- Du modèle à la nature : l'exemple de la côte Togolaise. Inédit.
- Rossi G. et Antoine P.(1990).- Impacts hydrologiques et sédimentologiques d'un grand barrage : l'exemple de Nagbéto (Togo-Bénin). *Revue de géomorphologie dynamique*. Tome XXXIX. 63-77.
- Rossi G. (1989).- L'Erosion du littoral dans le Golfe du Bénin : un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. *Zeitschrift für Geomorphologie: Supplementbände*, 73, 139-165.
- Robin M. (2002).- Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. In. *Le Littoral : Regards, Pratiques et Savoirs*. éd. Rue d'ULM . 95-115
- Sitarz J.A. (1960).- Côtes africaines : Etude des profils d'équilibre de plage. *Trav. Centre d'Etude et de Recherche en Océanographie*, T3, fasc. 4, pp.43-62.
- SOGREAH (1992).- Barrage d'Adjarala (Togo-Benin). Etudes d'impacts hydrauliques et sédimentologiques. Rapport d'Etudes. Université de Bordeaux III, 105p.
- Tastet J.-P. (1979).- Environnement sédimentaire et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse d'Etat, Univ de Bordeaux. 621. Vol. I : 181p et Vol.II : 125 Figs.
- Thomas Y.-F., Diaw A.T., Menanteau L., Devignac C. (1998) Approche satellitaire de la dynamique du trait de côte. Etude d'un cas : évolution de la flèche de Sangomar (estuaire du fleuve Saloum, Sénégal) entre 1981 et 1997. In Séminaires de l'UMR 6554 Géomatique en environnement, Brest, IUEM, 15 septembre 1998, p. 23 - 26.
- Toffi D.M. (1991).- Ressources climatiques et activités salicoles sur le littoral occidental du Bénin. Mémoire de DEA. Centre de recherches de Climatologie Tropicale. Univ. de Bourgogne. 167 p.

FICHES DE METADONNEES

IDENTIFICATION	Titre : LES PLAGES BENINOISES DANS LE GOLFE DE GUINEE EN AFRIQUE DE L'OUEST : EVOLUTIONS ET CONSEQUENCES SOCIO-ECONOMIQUES
	Résumé: Les plages béninoises sont des étendues sableuses sous forme d'un mince cordon littoral en bordure de mer. Elles correspondent à une côte meuble subdivisée en deux secteurs principaux : le secteur de côte adjacente à l'embouchure des fleuves Mono et Couffo et le secteur de côte adjacente au Port de Cotonou. Depuis la construction des ouvrages portuaires sur la côte et l'édification du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono, les plages béninoises évoluent dans un contexte d'érosion et d'accumulation lourds de conséquences socio-économiques : - le secteur de côte adjacente au Port de Cotonou est caractérisé depuis 1962 par des phénomènes d'accumulation à l'Ouest du port et d'érosion à l'Est. Plusieurs ouvrages de protection ont été expérimentés dans la zone en érosion (appelée crique). Ces ouvrages ont manqué d'efficacité et ont été simplement emportés par la mer, moins de deux ans après leur réalisation. Actuellement la vitesse d'érosion dans ce secteur est en moyenne à 10 m/an. - depuis la mise en service du barrage de Nangbéto en 1987, le secteur de côte adjacente à l'embouchure des fleuves Mono-Couffo est caractérisé par d'importants bouleversements tels que la migration d'embouchure à une vitesse de 700 m/an, la destruction littérale du cordon préexistant par une érosion de "proche en proche" et le dédoublement des chenaux fluvio-lagunaires. Tout ceci entraîne la perturbation des divers écosystèmes littoraux (mangrove, marais et lagunes côtières) et le déplacement des populations. Thème(s): suivi de l'évolution des plages béninoises Mots-clés : Erosion côtière, migration d'embouchure, République du Bénin Langues : Français Auteur(s) : LABORATOIRE DE GEOLOGIE, MINES ET ENVIRONNEMENT (UNITE DE SEDIMENTOLOGIE, UAC/République du Bénin) Contact(s) : labogeol_sdm@yahoo.fr ; oyede_marc@yahoo.fr ; raoulaibi@yahoo.fr Type des données (jeu, collection) : Données de télédétection (images satellitaires Landsat, QuickBird et Ikonos), profils de plage, données climatiques. Format des données : numériques, alphanumériques, vecteurs et rasters
	Date de création : Juillet 2010 Date de dernière modification : Août 2010 Fréquence de mise à jour : selon la nécessité Période de validité des données : 2010 Status (progression) : en cours
	Contraintes d'accès Contraintes d'utilisation

ORGANISATION ET CONTENU	Type de représentation spatiale: cartes Type d'objet vectoriel : Ponctuel, linéaire et surfacique Présentation topologique (V/F) Description générale du contenu : Il s'agit de plusieurs cartes représentant l'évolution du trait de côte des deux secteurs du littoral du Bénin depuis les constructions d'ouvrages portuaires et de barrage hydroélectrique Description des attributs : Nom_attribut1 Type_attribut1 Contenu_attribut1
LOCALISATION	Echelle du jeu de données : 1: 50 000 Extension géographique : littoral béninois compris entre 361784 - 718647 et 472359 -718483 au Nord et 361784 - 693096 et 472359 - 701973 au Sud (cordonnées XY) Système de coordonnées géographiques : Lat/long WGS 84 Système de coordonnées projetées: UTM WGS84 Z28 Nord Ellipsoïde de référence: WGS 84
QUALITE	Précision spatiale : 30 m Précision temporelle : de 1963 à 2000 pour le secteur côtier adjacent au port de Cotonou, à raison d'une donnée tous les 12 ans en moyenne ; de 1984 à 2009 à raison d'une données tous les 6 ans en moyenne pour le secteur côtier adjacent à l'embouchure du Mono-Couffo. Exhaustivité: 70% Sources : Digitalisation à partir de données de télédétection
DISTRIBUTION	Format de données : numérique Version : 01 Taille : 33 Mo Contact distributeur : labogeol_sdm@yahoo.fr
METADONNEES	Nom Date de création : Notice Dernière date de modification : 30 Aout 2010 Langue : Français Nom du standard de métadonnées Auteur(s) : labogeol_sdm@yahoo.fr

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Situation du littoral béninois (c) dans le golfe de Guinée (b) en Afrique de l'Ouest (a) et sa morphologie (d) avant la construction des ports et barrage perturbateurs de l'équilibre des côtes	5
Figure 2 : Carte montrant la géomorphologie du littoral béninois et les Communes s'ouvrant sur la mer	9
Figure 3 : Variations mensuelles moyennes des écoulements du Mono à Athiémé avant et après la construction du barrage de Nangbéto (Amoussou, 2010).....	10
Figure 4 : Géomorphologie et Géologie de la plate-forme béninoise.....	12
Tableau 1 : Evolution démographique de la population des Communes s'ouvrant sur la mer	14
Figure 5 : Mise en évidence de la ligne instantanée de rivage sur l'image QuickBird du 25/11/2006.....	17
Figure 6 : Etude diachronique par télédétection du secteur de côte adjacent au Port Autonome de Cotonou (Laïbi, 2005).....	23
Figure 7 : Détail des évolutions du rivage dans la zone source (crique) entre 1963 et 2000 (Laïbi, 2005)	24
Figures 8 : Evolution détaillée de quelques profils de plage du littoral du Bénin en 2002 et 2003	25
Photo 1 : Zone de la crique montrant l'occupation anarchique du littoral par les pêcheurs	26
Photo 2 : Ruines d'édifices provoquées par l'érosion dans la zone de la crique	26
Photo 3 : Zone de la crique montrant la parabole d'érosion à l'intérieur du continent.....	27
Photo 4 : Etat d'une zone d'accumulation (après une forte érosion) suite aux perturbations anthropiques : profil réflexif de la plage de Sèmè	27
Figure 9 : Localisation des différents épis de protection érigés à l'Est du port de Cotonou	29
Figure 10 : localisation des ouvrages en projet de réalisation dans la zone de la crique.....	30
Figure 11 : Carte montrant la zone d'emprise de la mobilité de la "Bouche du Roi" avant la mise en service du barrage de Nangbéto.....	32
Figure 12 : Carte montrant l'emplacement de la "Bouche du Roi" en novembre 1998 et la morphodynamique des plages adjacentes	33

Figure 13 : Image Landsat montrant l'emplacement de la "Bouche du Roi" en novembre 1999 et la morphodynamique des plages adjacentes	33
Figure 14 : Morphologie de la "Bouche du Roi" et des plages adjacentes en octobre 2002	35
Figure 15 : Emplacement de la "Bouche du Roi" en janvier 2009 et morphodynamique des plages adjacentes	36
Photo 5 : Photographie (prise regard face à l'Ouest) montrant la position de la "Bouche du Roi" en août 2007 et les méfaits de l'érosion.....	37
Photo 6 : Clichés photographiques montrant les ravages de l'érosion en face de l'école primaire publique de Djondji.	37
Photo 7 : Photos montrant les opérations d'ouverture d'embouchure artificielle à Avlo	38
Figure 16 : Image QuickBird de décembre 2009 montrant l'empreinte de la "Bouche du Roi" migrée à Djondji (BR_09) et l'emplacement de la brèche mécanique (BRM_09) pratiquée à Avlo.	39
Tableau 2 : Dates des lignes de rivages extraites des images satellitaires et positions de la "Bouche du Roi".	39
Figure 17 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 1984 et 1987 avant la mise en service du barrage de Nangbéto	41
Figure 18 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 1987 et 1998 lors du premier épisode de migration de la "Bouche du Roi"	43
Figure 19 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 2002 et 2006 lors du second épisode de migration de la "Bouche du Roi"	44
Figure 20 : Evolution du rivage du secteur côtier de l'estuaire du Mono-Couffo entre 2006 et 2008 lors du second épisode de migration de la "Bouche du Roi"	45
Figure 21 : Analyse de l'évolution du rivage entre 1984 et 2008 par régression linéaire.....	46
Tableau 3 : Synthèse des évolutions et conséquences observées au sein des plages adjacentes à la "Bouche du Roi" avant et après le barrage de Nangbéto	49

